

SÉRIE A, N° 1996

N° D'ORDRE :
2863

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Françoise LABOREY

1^{re} THÈSE. — ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR LES COURBES DE POIDS
D'ASPERGILLUS NIGER V. TGH. EN FONCTION DE LA
COMPOSITION DU MILIEU NUTRITIF. ÉTUDE PARTI-
CULIÈRE DU COEFFICIENT D'ACTION DU MAGNÉSIUM.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

devant la Commission d'examen.

27 JUIN 1942

MM. JAVILLIER

Président.

AUBEL

PLANTEFOL

} *Examineurs.*

1942

Imprimerie Louis BELLENAND et FILS

FONTENAY-AUX-ROSES (Seine)

LABOREY (Françoise). —

Études expérimentales sur les courbes de poids d'*Aspergillus niger* v. *Tgh.* en fonction de la composition du milieu nutritif. Étude particulière du coefficient d'action du magnésium.

Fontenay-aux-Roses, L. Bellenand et Fils, 1942, in-8° 176 pages, fig.

Th. sc. nat., Paris, 1942. N° 2863.

LABOREY (Françoise). —

Études expérimentales sur les courbes de poids d'*Aspergillus niger* v. *Tgh.* en fonction de la composition du milieu nutritif. Étude particulière du coefficient d'action du magnésium.

Fontenay-aux-Roses, L. Bellenand et Fils, 1942, in-8° 176 pages, fig.

Th. sc. nat., Paris, 1942. N° 2863.

LABOREY (Françoise). —

Études expérimentales sur les courbes de poids d'*Aspergillus niger* v. *Tgh.* en fonction de la composition du milieu nutritif. Étude particulière du coefficient d'action du magnésium.

Fontenay-aux-Roses, L. Bellenand et Fils, 1942, in-8° 176 pages, fig.

Th. sc. nat., Paris, 1942. N° 2863.

LABOREY (Françoise). —

Études expérimentales sur les courbes de poids d'*Aspergillus niger* v. *Tgh.* en fonction de la composition du milieu nutritif. Étude particulière du coefficient d'action du magnésium.

Fontenay-aux-Roses, L. Bellenand et Fils, 1942, in-8° 176 pages, fig.

Th. sc. nat., Paris, 1942. N° 2863.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551816_0032

SÉRIE A, N° 1996

N° D'ORDRE :
2863

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

Françoise LABOREY

1^{re} THÈSE. — ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR LES COURBES DE POIDS
D'ASPERGILLUS NIGER V. TGH. EN FONCTION DE LA
COMPOSITION DU MILIEU NUTRITIF. ÉTUDE PARTI-
CULIÈRE DU COEFFICIENT D'ACTION DU MAGNÉSIUM.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

devant la Commission d'examen.

MM. JAVILLIER *Président.*

AUBEL
PLANTEFOL } *Examineurs.*

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS



MM.

Dogens honoraires.... } M. MOLLIARD.
C. MAURAIN.
Doyen..... Paul MONTEL, *Professeur*, Théorie des fonctions.

<i>Professeurs honoraires.</i>	{	Léon BRILLOUIN.	G. BERTRAND.	CAULLERY.
		AUGER.	Ch. FABRY.	CARTAN.
		DANGEARD.	Léon BERTRAND.	É. BOREL.
		LESPIEAU.	WINTREBERT.	A. COTTON.
		VESSIOT.	DUBOSCQ.	J. DRACH.
		PORTIER.	BOHN.	M. GUICHARD.
		LAPICQUE.	RABAUD.	LABROUSTE.

PROFESSEURS

Charles PÉREZ..... T	Zoologie.	TOUSSAINT.....	Technique Aéronautique.
L. BLARINGHEM..... T	Botanique.	M. CURIE.....	Physique (P. C. B.).
G. JULIA..... T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	G. RIBAUD..... T	Hautes températures.
C. MAUGUIN..... T	Minéralogie.	CHAZY..... T	Mécanique rationnelle.
A. DENJOY..... T	Géométrie supérieure.	GAULT.....	Chimie (P. C. B.).
L. LUTAUD..... T	Géographie physique et Géologie dynamique.	CROZE.....	Recherches. Physiques.
G. BRUHAT..... T	Physique.	DUPONT..... T	Théories chimiques.
E. DARMOIS..... T	Enseignement de Physique.	VALIRON..... T	Calcul différentiel et intégral.
A. DEBIERNE..... T	Physique Générale et Radioactivité.	BARRABÉ.....	Géologie structurale et Géologie appliquée.
A. DUFOUR..... T	Physique (P. C. B.).	MILLOT.....	Biologie animale (P. C. B.).
L. DUNOYER..... T	Chimie physique.	F. PERRIN.....	Théories physiques.
M. JAVILLIER..... T	Chimie biologique.	VAVON..... T	Analyse et mesures chimiques.
Henri VILLAT..... T	Mécanique des fluides et applications.	G. DARMOIS.....	Calcul des Probabilités et Physique-Mathématique.
Ch. JACOB..... T	Géologie.	CHATTON..... T	Biologie maritime.
P. PASCAL..... T	Chimie minérale.	AUBEL.....	Chimie biologique.
M. FRÉCHET..... T	Calcul des Probabilités et Physique mathématique.	Jacques BOUCART...	Géographie physique et Géologie dynamique.
E. ESCLANGON..... T	Astronomie.	M ^{me} JOLIOT-CURIE.	Physique générale et Radioactivité.
H. BÉGHIN..... T	Mécanique physique et expérimentale.	PLANTEFOL.....	Biologie végétale (P. C. B.).
FOCH..... T	Mécanique expérimentale des fluides.	CABANNES..... T	Recherches physiques.
PAUTHENIER.....	Physique (P. C. B.).	GRASSÉ..... T	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
De BROGLIE..... T	Théories physiques.	PRÉVOST.....	Chimie organique.
CHRÉTIEN.....	Optique appliquée.	BOULIGAND.....	Mathématiques.
PRENANT..... T	Anatomie et Histologie comparées.	CHAUDRON.....	Chimie (P. C. B.)
VILLEY.....	Mécanique physique et expérimentale.	WYART.....	Minéralogie.
COMBES..... T	Physiologie végétale.	TEISSIER.....	Zoplogie.
GARNIER..... T	Application de l'analyse à la Géométrie.	MANGENOT.....	Biologie végétale (P. C. B.).
PÉRÈS.....	Mécanique rationnelle.	P. AUGER.....	Physique.
HACKSPILL..... T	Chimie minérale.	MONNIER.....	Physiologie générale.
		PIVETEAU.....	Géologie.
		ROCARD.....	Physique.
		H. CARTAN.....	Calcul différentiel.

Secrétaire..... A. PACAUD.
Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK.

A MON MARI

A MES PARENTS

A MON MAITRE, LE PROFESSEUR JAVILLIER,
MEMBRE DE L'INSTITUT

PREMIÈRE THÈSE

Études expérimentales
sur les courbes de poids
d'ASPERGILLUS NIGER v. Tgh.
en fonction de la composition
du milieu nutritif.
Étude particulière
du coefficient d'action du magnésium.

INTRODUCTION

Depuis que *J. Raulin* a utilisé l'*Aspergillus niger* v. Tgh¹ pour une étude générale des conditions de la croissance végétale, température, composition du milieu, etc..., cet organisme a été maintes fois employé pour des fins analogues. Il l'a été notamment pour la recherche du caractère d'utilité de divers éléments chimiques.

Après que *Raulin* eût ouvert la voie, notamment par la découverte de l'action sur la moisissure d'éléments chimiques agissant à très petites doses, d'autres expérimentateurs et surtout M. *Gabriel Bertrand* et son école, ont apporté sur ce sujet une contribution importante en ce qui concerne le magnésium, le zinc, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le vanadium, etc...

Travaillant au laboratoire de M. le Professeur JAVILLIER, où maintes recherches ont été faites sur l'action de divers éléments sur le développement des plantes, j'ai été amenée à choisir la même moisissure comme matériel d'étude. Il n'était plus question de rechercher la nécessité de certains éléments² — mais de tenter de préciser les lois d'action, et, si possible, le mode d'intervention de l'un d'entre eux, le magnésium.

Déjà M. *J. Lavollay* (1) avait étudié au même laboratoire diverses questions biochimiques se rapportant au magnésium. Il avait approfondi les principes de son rôle agronomique, souligné l'interdépendance des concentrations des ions dans les milieux de culture (Ca/Mg) et rappelé les lois du développement végétal en fonction de la concentration d'un élément indispensable dans le milieu nutritif. Il avait également proposé des lois gouvernant la fixation d'un élément ainsi que l'exportation de cet élément par les récoltes en fonction de la concentration de cet élément dans le milieu. J'ai tenté d'utiliser

1. La dénomination « *Aspergillus niger* » a été consacrée par l'habitude à la suite des travaux de RAULIN. La moisissure est, en réalité, un « *Sterigmato-cystis* ».

2. J'ai, moi-même, eu l'occasion de me familiariser avec des recherches dans ce domaine par un travail avec M. JAVILLIER, relatif à l'action du soufre et du magnésium sur l'*Aspergillus*. Voir la conférence de M. JAVILLIER : « Le magnésium et la croissance des organismes ». (Constantza, mai 1936.) B. S. P., t. XLVII, p. 113 (1940).

l'*Aspergillus niger* dans des buts analogues et de rechercher l'action de certaines modifications du milieu de culture sur son développement et sur sa composition. Nous avons déjà en commun, M. *Lavollay* et moi (2) défini ce que nous entendions par coefficient d'action du magnésium.

Je remercie M. *Javillier* de m'avoir d'abord associée à certains de ses travaux, et de m'avoir ensuite encouragée par un intérêt assidu à poursuivre cette étude.

Je remercie non moins vivement M. *Lavollay* avec qui s'est poursuivie une collaboration confiante durant six années — et qui m'a guidée de ses conseils au cours de ces essais.

J'ai trouvé au Conservatoire National des Arts et Métiers les meilleures facilités de travail et il m'est agréable de le souligner ici.

Le développement d'un organisme végétal est fonction de nombreuses variables parmi lesquelles le temps, la température, le pH et en général les proportions de tous les éléments utiles ou nuisibles du milieu.

Dans sa forme la plus générale, l'expression du développement revêt donc la forme d'une fonction de plusieurs variables

$$P = f(t, x, y, z)$$

Il est clair que cette fonction peut être décomposée en un certain nombre de fonctions ne comprenant qu'une seule variable à la condition que les autres soient maintenues constantes.

Notre travail est une contribution à l'étude de cette fonction $P = f(t, x, y, z)$ du développement. Ceci posé, les principales subdivisions s'imposent d'elles-mêmes.

Ayant choisi pour matériel d'étude l'*Aspergillus niger*, nous avons repris d'abord l'étude de la courbe du développement de cet organisme en fonction du temps, sur une surface donnée, d'un milieu de culture de composition connue.

Cherchant à préciser la notion de vitesse de développement et les variations de cette vitesse avec la composition du milieu, nous mettons à profit une période privilégiée de la croissance, pendant laquelle le développement est une fonction pratiquement linéaire du temps.

Nous étudions ensuite les effets des diverses *modifications apportées au milieu* sur le *poids de matière* vivante édifée en un temps donné. Nous tenterons d'exprimer par une relation mathématique simple les résultats obtenus.

Pour des raisons tenant à la direction de pensée régnant alors au laboratoire, nous avons surtout étudié l'effet de la concentration en magnésium du milieu.

Nous avons étudié enfin les répercussions qu'entraîne la modification de composition chimique du milieu sur l'action du magnésium ; cette action étant encore mesurée par le poids de matière vivante formée en un temps donné.

PREMIÈRE PARTIE

CROISSANCE D'ASPERGILLUS EN FONCTION DU TEMPS

CHAPITRE PREMIER

Croissance en fonction du temps pour une même teneur en magnésium

La croissance en fonction du temps est un phénomène particulièrement visible et elle a été étudiée depuis fort longtemps. Il y a bien des procédés pour mesurer la croissance d'un organisme ou d'une colonie d'organismes, que ce soit par sa taille, son poids ou le nombre des individus qui la composent.

Bien des auteurs, en possession d'un graphique de croissance en fonction du temps, ont essayé de l'interpréter, soit dans un but purement descriptif, soit même avec l'intention d'en tirer une théorie de la croissance de l'organisme étudié. C'est ainsi que sont nées la théorie de *Robertson* (3), qui admet que l'organisme croît suivant la même loi que celle qui régit les réactions autocatalytiques, ce qu'il traduit par la formule suivante :

$$\frac{dx}{dt} = Kx(a - x)$$

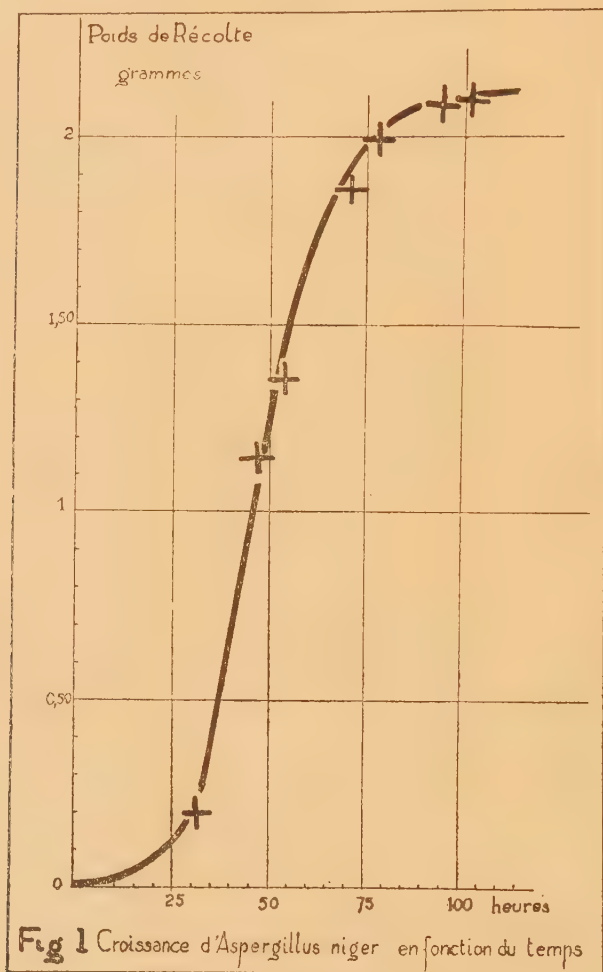
t étant le temps ;

x le poids de l'organisme au temps t .

(Cette théorie s'appliquant d'ailleurs particulièrement bien dans

le cas où l'on étudie la croissance d'une colonie d'organismes inférieurs.)

Puis la théorie de *Bertalanffy* (4), qui cherche à mesurer la croissance par l'assimilation et la désassimilation et qui représente la croissance par une branche d'exponentielle.



La théorie de *Schmalhausen* (5) analogue à celle de *Teissier* (6) qui admet que le taux d'accroissement d'un organisme diminue lorsque celui-ci vieillit.

Comme l'équation proposée par *Robertson*, celle de *Teissier* est représentée par une courbe en S.

1. — Etablissement de la courbe.

M. Stefanowska (7) a obtenu en cultivant le *Penicillium glaucum* durant 12 jours, une courbe de croissance qu'elle traduit par l'équation suivante :

$$7 xy + 2 y^2 - 330 x - 320 y + 10.640 = 0$$

x étant le poids de l'organisme,

y le temps de culture.

La courbe a la forme de 2 branches d'hyperboles — on peut également en première approximation, la rapprocher d'une logistique.

La courbe de croissance d'*Aspergillus niger*, étudiée également par M. Stefanowska, présente la même allure générale. L'auteur ne donne pas les résultats détaillés de ses recherches sur cet organisme.

Nous avons étudié la croissance d'*Aspergillus niger* en fonction du temps, sans nous préoccuper d'en donner une équation et uniquement dans le but de pouvoir choisir, au cours de nos expériences, des durées de culture correspondant à des phases bien déterminées du développement. Voici le résultat de nos recherches sur ce sujet.

Pour déterminer la courbe de croissance de l'*Aspergillus niger* en fonction du temps, il suffit de le cultiver dans des conditions invariables de température et de milieu, et de déterminer les poids de mycélium formés dans des temps bien déterminés.

On établit ainsi la courbe d'augmentation du poids P du mycélium, en fonction du temps de culture.

La culture de l'*Aspergillus niger* est faite sur un milieu nutritif liquide, très analogue à celui que proposa *Raulin* en 1870. Nous l'avons légèrement modifié d'après *Bertrand* et d'après *Javillier* en y ajoutant du manganèse et du zinc sous forme de sulfate, dans les proportions qu'indiquent ces auteurs. L'aliment ternaire constitué dans le milieu de *Raulin* par 46,7 gr. de saccharose pour un litre d'eau, a été remplacé par 50 gr. de glucose anhydre.

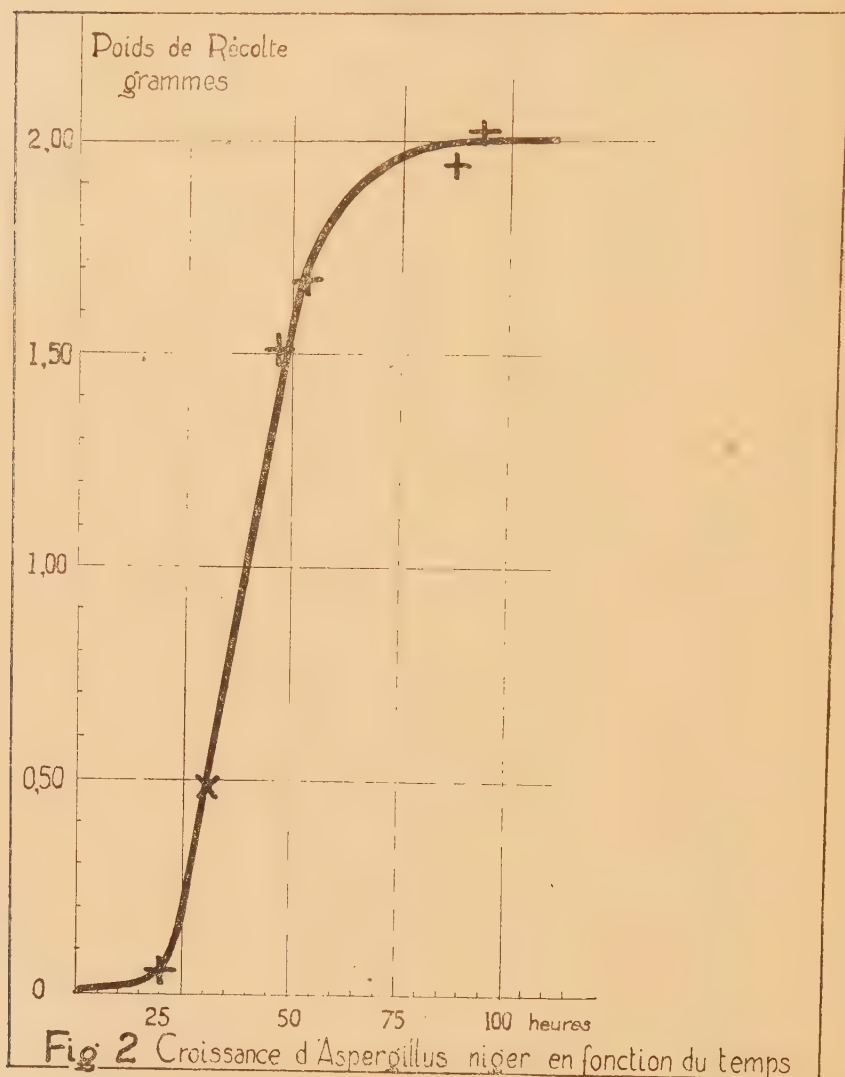
Voici la formule du milieu de culture employé¹ :

Glucose.....	50 gr.
Acide tartrique.....	2,67
NO ³ NH ⁴	2,67
PO ⁴ H ² NH ⁴	0,40
CO ³ Mg.....	0,40
SO ⁴ (NH ⁴) ²	0,17
SO ⁴ Fe.....	0,047
Si O ³ K ²	0,047
SO ⁴ Mn + 4 H ² O.....	0,008
SO ⁴ Zn + 7 H ² O.....	0,005
Eau distillée.....	q. s. p. 1 litre

1. Sauf pour trois expériences, v. p. 51, le milieu de culture ne comporte pas de cuivre volontairement apporté. Il est très probable d'ailleurs que les produits employés en contiennent à titre d'impuretés des quantités très suffisantes pour les besoins de l'*Aspergillus niger*.

125 cm³ de ce liquide placés dans un ballon Pyrex de 250 cm³, à fond plat, sont largement recouverts de conidies d'*Aspergillus niger* et portés à l'étude à 34°.

Après récolte du mycélium, on lave à l'eau bidistillée sa face



inférieure. On le presse fortement à la main, et on le sèche à l'étuve, en le portant durant 12 heures à l'étuve à 50°, puis durant 24 heures à l'étuve à 100-110°. L'expérience suivante a duré 102 heures. Il a été effectué 7 arrêts à des temps différents.

Voici les chiffres obtenus (fig. 1) :

Temps en heures : 31 1/4, 46 1/2, 53 1/2, 71, 78, 94 1/2, 102
Poids sec de la récolte en gr. : 0,20 1,14 1,35 1,86 1,99 2,10 2,11
(moyenne de 3 échantillons)

Deuxième expérience (fig. 2), d'une durée de 95 heures. Il a été effectué 6 arrêts à des temps différents.

Voici les chiffres obtenus :

Temps en heures : 21, 31 1/2, 47, 54, 88 1/2, 95
Poids sec de la récolte en gr. : 0,58 0,494 1,520 1,685 1,961 2,02
(moyenne de 6 échantillons pour le 1^{er} chiffre, de 2 échantillons pour les autres).

La courbe obtenue en portant en abscisses les temps, et en ordonnées les poids de récolte, est une courbe en S (fig 1).

La croissance au début est relativement lente. Elle devient plus rapide ici vers la 30^e heure de culture. La courbe reste presque rectiligne pendant une quarantaine d'heures. Elle s'incurve à nouveau et devient parallèle à l'axe des abscisses vers la 100^e heure de culture, époque à partir de laquelle le poids reste constant.

La courbe de croissance peut donc se décomposer en 3 parties :

La première partie est une branche d'exponentielle ou d'hyperbole, la deuxième partie peut être assimilée à une droite, la troisième partie est une autre branche d'exponentielle, le poids du mycélium tend vers une valeur relativement stable.

A. — Le mycélium au début de la culture, recouvre peu à peu la surface du liquide, sans être entravé dans sa croissance par les limites imposées par la forme du récipient.

D'autre part, la composition du milieu reste pratiquement constante ; le poids du mycélium étant très faible, les quantités d'aliment métabolisées par lui sont peu importantes. Le rythme de la multiplication cellulaire est alors le facteur prépondérant, ce rythme détermine l'allure de la courbe de croissance du mycélium.

B. — La croissance pratiquement linéaire du mycélium, telle qu'elle apparaît dans la partie moyenne de la courbe, doit être la résultante de plusieurs facteurs agissant en sens contraire sur le développement.

Les facteurs qui freinent la croissance du mycélium sont de plusieurs sortes :

1^o *Le milieu s'épuisant*, il y a disparition progressive d'un ou de

plusieurs constituants indispensables à la nutrition du mycélium. Il est facile notamment de vérifier que le sucre disparaît rapidement durant la croissance du champignon.

Voici les résultats de dosages effectués à chaque arrêt, au cours de l'expérience relatée plus haut — (il y avait, au début de la culture, 7 gr. de glucose par ballon).

TEMPS DE CULTURE	SUCRE UTILISÉ	SUCRE RESTANT
31 1/4	1,55 gr.	5,45 gr.
46 1/2	3,63	3,37
53 1/2	3,41	3,59
71	4,54	2,46
78	4,97	2,03
94 1/2	5,64	1,56
102	5,63	1,37

2° Un autre phénomène intervient pour ralentir la croissance du mycélium. Après un certain temps de culture, le milieu nutritif se charge de produits de déchet, excrétés par l'*Aspergillus*, la culture peut en être intoxiquée.

3° Il y a en outre « vieillissement », phénomène qui se traduit par un ralentissement dans l'édification de la matière vivante.

Ces 3 facteurs s'additionnent pour freiner la production de mycélium, agissant à l'encontre de la multiplication cellulaire ; le résultat global est qu'à partir de la 30^e heure de culture, la courbe de croissance du champignon cesse d'être une branche d'exponentielle, pour devenir pratiquement linéaire.

C. — Enfin, la troisième partie de la courbe de croissance de l'*Aspergillus niger* fait apparaître un ralentissement encore plus net de la production de matière vivante par le champignon. Et, à partir de la 100^e heure de culture, environ, le poids de matière sèche cesse d'augmenter. La croissance est ralentie au point de devenir nulle. Ce stade est représenté par la portion de la courbe de croissance parallèle à l'axe des temps.

Nous retiendrons ce fait, intéressant à de nombreux points de vue, que le développement du mycélium est pratiquement proportionnel au temps, entre la 30^e et la 70^e heure de sa croissance.

Nous aurons, plus loin, l'occasion d'utiliser cette particularité.

2. — Vitesse de croissance.

Dans sa partie moyenne, la courbe est pratiquement confondue avec une droite. Entre la 30^e et la 70^e heure de culture, les rapports $\frac{dP}{dt}$ sont pratiquement constants, la vitesse de croissance est constante.

Entre le 2^e et le 3^e arrêt, soit en 7 h., le poids du mycélium a augmenté de 1,35 — 1,14 = 0,21 gr. à raison de 0 g. 030 en 1 heure.

Entre le 3^e et le 4^e arrêt, soit en une durée de 17 h. 1/2, le poids du mycélium a augmenté de 1,86 — 1,35 = 0,51 gr. à raison de 0 g. 029 en 1 heure.

La courbe de croissance, à ce stade, peut être pratiquement confondue avec sa tangente, et le rapport $\frac{dP}{dt}$ qui, dans cette région reste constant, est mesuré par la tangente de l'angle que fait l'axe des abscisses avec la tangente à la courbe en ce point ; soit α cet angle. On peut écrire $V = \frac{dP}{dt} = tg\alpha$, en appelant V la vitesse de croissance du mycélium dans la partie linéaire de la courbe. Cette vitesse de croissance est mesurable par un nombre qui reste invariable pendant un certain temps. C'est le coefficient angulaire de la droite.

Le fait à retenir est donc qu'on peut définir, pendant cette période, une vitesse uniforme de croissance.

3. — Évolution de la composition minérale du mycélium au cours de la croissance.

C'est une notion connue depuis longtemps, que celle de la variation de la teneur en éléments minéraux du mycélium au cours de sa vie.

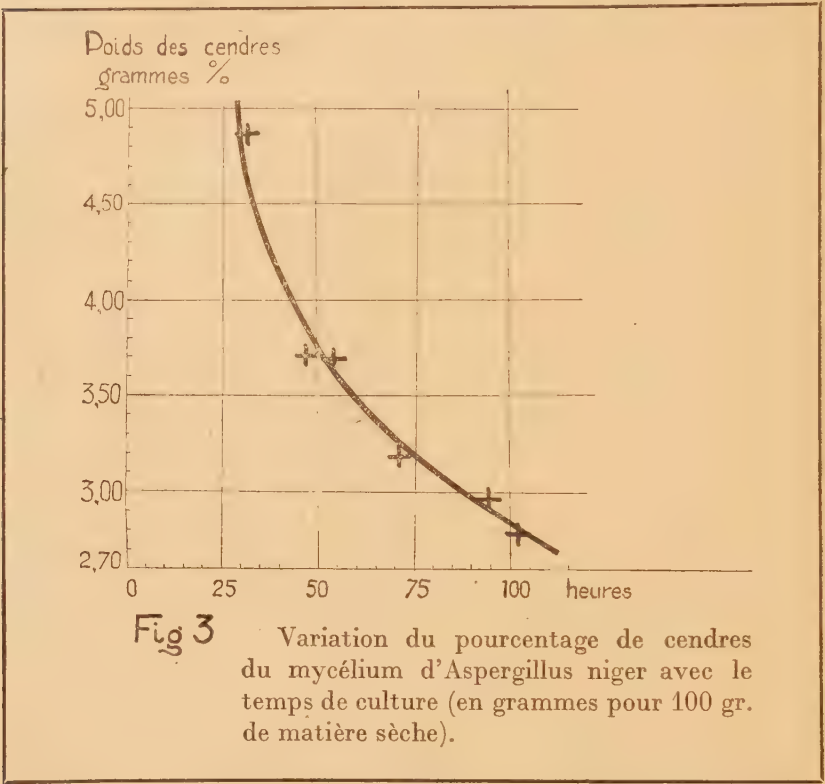
1. — VARIATION QUANTITATIVE DES CENDRES DU MYCÉLIUM.

Nous avons vérifié sur l'*Aspergillus niger* que la proportion des cendres dans le mycélium *diminue* lorsque le champignon vieillit.

Molliard (8) cultive *Aspergillus niger* sur un milieu ne différant du nôtre que par la nature du sel d'ammonium qu'il lui offre.

Il évalue la teneur en cendres de mycéliums cultivés sur des milieux comportant soit du tartrate d'ammonium, soit du chlorure d'ammonium, et en étudie la variation en fonction du nombre d'heures de cultures. Il constate que dans les 2 séries de cultures, le pourcentage de matières minérales contenues dans le mycélium décroît de façon constante durant les 3 premiers jours de la végétation,

la diminution du poids des cendres étant d'ailleurs beaucoup plus rapide lorsque la culture est faite sur un milieu comportant du chlorure d'ammonium.



Crépin (9) dans sa thèse, retrouve les mêmes résultats que *Molliard* dans des expériences très analogues.

Voici les chiffres de *Crépin* :

AGE DU MYCÉLIUM EN HEURES	CENDRES GLOBALES DANS UN MILIEU COMPORTANT :	
	DU TARTRATE D' NH^4	DU CHLORURE D' NH^4
Moins de 24 h.	60 0/00	30 0/00
— 32 h.	30 0/00	—
— 96 h.	—	10 0/00
A l'autolysé	20 0/00	—

Les nombres que nous avons obtenus, dans les conditions de l'expérience précédente sont les suivants :

Temps de culture

(en heures). : 31 1/4, 46 1/2, 53 1/2, 71, 78, 94 1/2, 102

Teneurs en cendres

(en gr. pour 100 gr.

de poids sec). : 4,87 3,70 3,69 3,19 3,15 2,95 2,77

On voit d'après le graphique que les pourcentages de cendres trouvés dans les mycéliums de cette série de cultures, aux stades de végétation correspondant à ceux qu'étudie Crépin, sont environ les suivants :

Age du mycélium en heures : 24 h. 32 h. 96 h.

Teneur en cendres : 55 ‰ 45 ‰ 30 ‰

Le poids des cendres diminue progressivement au cours de la croissance du champignon. Cependant nous allons voir que ce qui est vrai pour les cendres globales, ne l'est que dans certaines limites pour certains des constituants de celles-ci.

2. — VARIATION DE LA TENEUR DU MYCÉLIUM EN MAGNÉSIUM ET EN PHOSPHORE.

A. — RECHERCHES ANTÉRIEURES.

1^o Fixation du magnésium.

Crépin (9) dans sa thèse, donne le résultat d'une série de dosages effectués dans les conditions suivantes :

Le mycélium est cultivé sur un liquide très voisin de celui de Raulin, mais offrant l'azote sous forme soit de tartrate d'ammonium, soit de chlorure d'ammonium. Les dosages de magnésium sont effectués à des intervalles de temps réguliers entre la 24^e et la 120^e heure de culture.

Résultats : 1^o la masse de magnésium fixé augmente avec le poids du mycélium et diminue en même temps que lui quand le mycélium s'autolyse;

2^o il semble en outre dans les deux séries de cultures que sauf durant les premières heures, la masse de magnésium fixée par 1 gr. de matière sèche, reste à peu près constante. Elle est un peu plus élevée, d'après Crépin, au début de la végétation.

Rippel et Behr (10) constatent que durant la croissance du mycélium, puis durant son autolyse, le pourcentage de magnésium que comportent les cendres ne reste pas constant. Durant l'autolyse la teneur en magnésium diminue moins rapidement que la teneur en cendres totales. Leurs dosages n'ont d'ailleurs été faits que pour des mycéliums âgés d'au moins deux jours.

2° Fixation du phosphore.

Crépin (9) dans sa thèse, étudie la fixation du phosphore par le mycélium, comme il étudie la fixation du magnésium. Les mycéliums sont cultivés de la façon décrite plus haut et sur le même milieu.

Résultats : 1° la masse de phosphore fixée par le mycélium augmente en même temps que le poids de matière sèche, il diminue avec elle quand intervient l'autolyse.

2° la masse de phosphore fixée par 1 gr. de matière sèche diminue de façon continue au cours de la végétation, mais d'une façon particulièrement rapide au début de la végétation.

Richard Schnücke (11) cultive *Aspergillus niger* sur milieu de Laurent et dose le phosphore contenu dans le mycélium. Malheureusement ses dosages sont faits sur des mycéliums relativement vieux dont les âges varient entre 3 et 9 jours. A ce stade le mycélium a évidemment dépassé la période de croissance.

Une autre série de dosages, effectuée par Schnücke, ne fournit pas de données suffisamment précises sur l'âge des mycéliums étudiés, les dosages ont été effectués aux stades suivants :

1^{er} stade : mycélium blanc.

2^e stade : mycélium gris.

3^e stade : mycélium noir.

Les résultats de cette expérience confirment ceux de Crépin.

Nous avons dosé les masses de *magnésium* fixées au cours de la croissance, ainsi que les quantités correspondantes de *phosphore*. Les résultats de cette étude seront trouvés ci-après.

B. — MÉTHODES DE DOSAGE.

1° Dosage du magnésium.

Technique de Javillier et Lavollay (12). Cette méthode permet de doser de petites quantités de magnésium, de l'ordre du milligramme.

On incinère le mycélium jusqu'à cendres blanches. On reprend par l'acide chlorhydrique, on évapore à siccité pour insolubiliser la silice, on reprend par l'acide nitrique dilué. On évapore à sec au bain-marie. On reprend par de l'acide chlorhydrique à 2 % et on filtre dans un tube de centrifugeuse Pyrex de 40 cm³.

Séparation du calcium. — On ajoute 3 gouttes d'acide acétique et un léger excès d'une solution à 2 % d'oxalate de soude. On ajoute de la soude à 10 % jusqu'à virage au rouge de méthyle. On porte au bain-marie bouillant durant 10 minutes. On centrifuge à chaud. Le précipité d'oxalate de calcium reste au fond du tube, il ne gêne en rien le dosage du magnésium.

Précipitation du magnésium. — La précipitation se fait par addition d'une solution à 2,5 % de 8-hydroxyquinoléine dans l'acide acétique. On alcalinise progressivement avec de la soude $\frac{N}{4}$ jusqu'à virage au bleu de la thymol-sulfonephthaléine, $pH = 9,5$. On porte alors au bain-marie bouillant pendant 10 minutes. On centrifuge et on décante.

Le culot de centrifugation est soigneusement divisé à l'aide d'un agitateur dans 15 cm³ d'alcool-chloroforme alcalin qu'on porte à l'ébullition. On centrifuge et on recommence 2 fois ce lavage.

Le culot de centrifugation est constitué alors exclusivement par de l'hydroxyquinoléinate de magnésium. Après dissolution dans l'acide chlorhydrique il est versé dans la fiole à bromer.

Dosage de l'hydroxyquinoléine par bromuration. — La solution chlorhydrique est versée en A dans la fiole à bromuration. On introduit en B, à la pipette, 10 cm³ d'une solution d'iodure de potassium à 20 %. Puis on verse en A, 2 à 3 cm³ d'une solution à 40 % de bromure de potassium. Enfin, à la pipette et très exactement, on verse en A, 5 cm³ d'une solution titrée de bromate de potassium 0,05 M. On mélange.

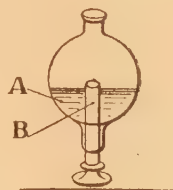
Après 3 minutes, on renverse la fiole, on agite et on débouche. On titre l'iode dégagé par une solution de thiosulfate de sodium titrée au préalable par rapport au bromate.

Résultat du dosage :

$$\text{mgr de Mg} = \left(5 - 5 \frac{n}{N} \right) 0,912$$

n = nombre de cm³ de thiosulfate.

N = nombre de cm³ de thiosulfate correspondant à 5 cm³ Br 0,3 K 0,05 M.

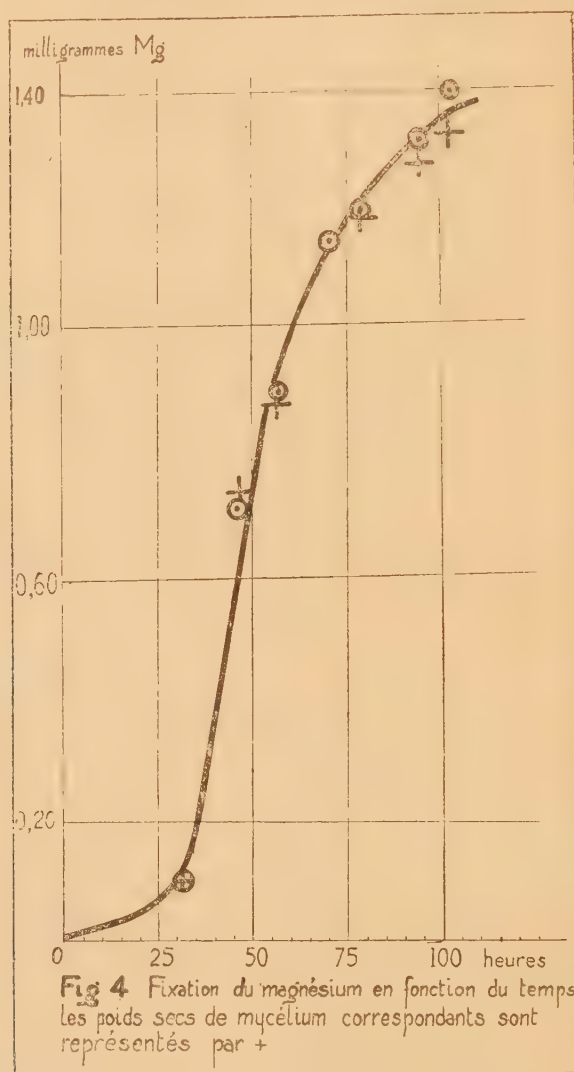


2° Dosage du phosphore.

Technique de Copaux (13). Le mycélium est détruit par voie humide au moyen de 2 cm³ d'acide sulfurique à chaud avec additions répétées d'acide nitrique. Lorsque l'addition d'acide nitrique n'entraîne plus l'apparition de vapeurs nitreuses, et que le mélange ne charbonne plus en absence d'acide nitrique, on reprend par l'eau et on amène à l'ébullition pour transformer les pyrophosphates en phosphates ; le dosage des phosphates est fait par la méthode de Copaux. L'appareil employé est une ampoule à décanter prolongée par une douille de $\frac{1}{2}$ cm³ graduée en $\frac{1}{80^e}$ de cm³.

On procède par comparaison avec une liqueur étalon constituée par du phosphate d'ammonium pur — 5 gr. par litre environ —

soigneusement titrée par la méthode au phosphate ammoniaco-magnésien — 10 cm³ de cette solution sont introduits dans l'ampoule, on ajoute 10 cm³ d'une solution à 200 gr. par litre d'acide sulfurique, et de l'éther. On agite le tout, et on ajoute 15 cm³ d'une solution de



molybdate de sodium obtenue en dissolvant dans l'eau à chaud 100 gr. d'anhydride molybdique et 32 gr. de carbonate de sodium pour 1 litre de solution.

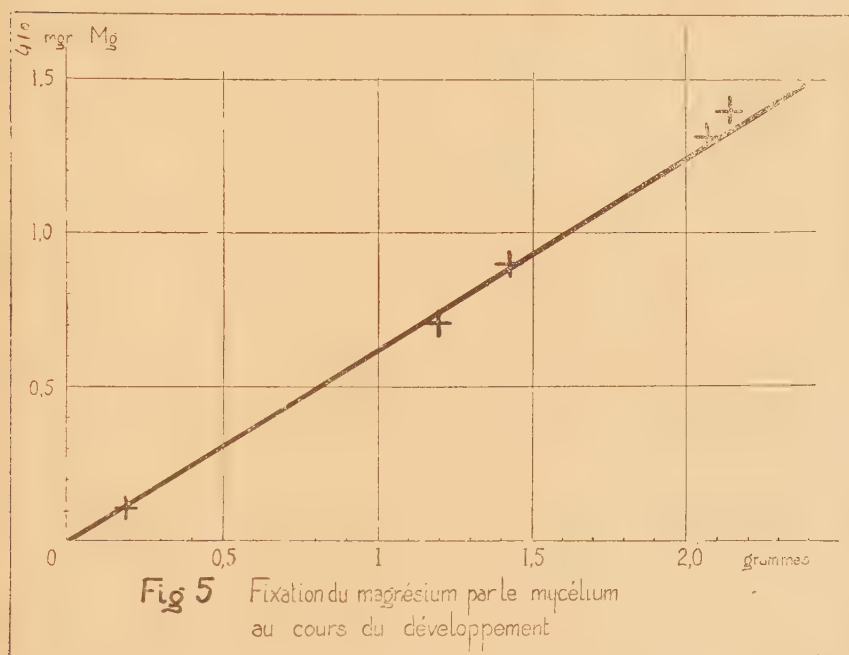
On prépare un mélange identique dans une 2^e ampoule ; les 2 ampoules sont portées au centrifugeur à main. Il y a séparation de

3 phrases : eau, éther, liqueur jaune phosphomolybdique, dans la douille. On lit le volume occupé par cette liqueur, ce qui permet de calculer la valeur d'une division de l'échelle en milligrammes de phosphore. On répète cette expérience sur le phosphate à doser ; un calcul de proportion donne la teneur du mycélium en phosphore.

C. — RÉSULTATS DES DOSAGES EFFECTUÉS DANS LE MYCÉLIUM.

1° — *Fixation du magnésium.*

La masse de magnésium fixée et exportée par le mycélium augmente avec le temps de culture suivant une loi analogue à celle qui régit l'augmentation de poids du mycélium lui-même.



a) Les courbes représentatives du poids sec de matière vivante formée, et de la quantité de magnésium fixé, en fonction du temps, sont pratiquement homothétiques.

Elles sont à peu près confondues sur un graphique où les ordonnées sont convenablement choisies (fig. 4).

b) La courbe représentant les masses de magnésium fixées par le mycélium, en fonction du poids sec de ce mycélium, est pratiquement une droite, c'est-à-dire que la concentration du magnésium à l'intérieur de la matière vivante reste à peu de chose près constante. La

proportion de magnésium fixée, exprimée pour 100 gr. de matière sèche, est à peu près la même quel que soit le temps de culture. Elle augmente très légèrement de 60 à 65 mgr. de magnésium pour 100 gr. de matière sèche, entre la 30^e et la 100^e heure de culture (fig. 5).

Sur le graphique les erreurs sont de :

—8,3 % —5,3 % + 1 % —0, —1 % + 2,2 % + 3,7 %.

Voici les nombres obtenus dans cette série de dosages :

TEMPS EN HEURES	POIDS SEC DU MYCÉLIUM EN GRAMMES	MAGNÉSIUM FIXÉ EN MILLIGRAMMES	MAGNÉSIUM FIXÉ PAR 100 GRAMMES DE MATIÈRE SÈCHE (EN MILLIGR.)
31 1/4	0,19	0,11	59,9
46 1/2	1,20	0,71	59,2
53 1/2	1,43	0,90	62,9
71	1,86	1,16	62,3
78	1,93	1,20	62,2
94 1/2	2,07	1,32	63,8
102	2,15	1,40	65,1

2° — Fixation du phosphore.

La masse de phosphore fixée par le mycélium augmente avec le temps de culture ; mais la masse de phosphore fixée par 100 gr. de matière sèche, ne reste constante qu'à partir de la 50^e heure de végétation, environ ; voici les nombres obtenus au cours de 2 expériences.

Expérience n° 1 (fig. 6).—Teneur du liquide en $\text{PO}^4\text{H}^2\text{K}$ —0 gr. 4 par litre, soit 10,8 mgr. de phosphore par ballon.

TEMPS DE CULTURE EN HEURES	POIDS SEC DU MYCÉLIUM EN GRAMMES	PHOSPHORE FIXÉ EN MILLIGRAMMES	PHOSPHORE FIXÉ PAR 100 GRAMMES DE MATIÈRE SÈCHE (EN MILLIGR.)
21	0,058	0,84	1,420
31 1/2	0,476	4,0	0,840
47	1,561	6,90	0,450
54	1,685	7,25	0,430
88 1/2	1,895	8,50	0,450
95	1,853	8,25	0,440

Expérience n° 2 (fig. 7). — Teneur du liquide en $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$: 0 gr. 6 par litre — soit 16,2 mgr. de phosphore par ballon.

TEMPS DE CULTURE EN HEURES	POIDS SEC DU MYCÉLIUM EN GRAMMES	PHOSPHORE FIXÉ EN MILLIGRAMMES	PHOSPHORE FIXÉ PAR 100 GRAMMES DE MATIÈRE SÈCHE (EN MILLIGR.)
31 1/4	2,25	3,12	1,25
46 1/2	1,49	9,52	0,80
53 1/2	1,37	10,0	0,73
71	1,87	13,31	0,71
78	2,14	13,65	0,64
94 1/2	2,16	13,72	0,64
102	2,06	15,42	0,75

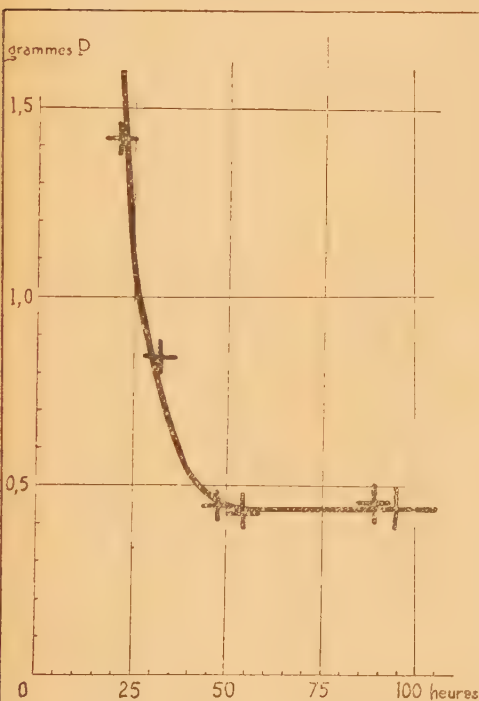


Fig 6 Variation de la teneur en phosphore du mycélium avec le temps de culture (en grammes pour 100 gr de matière sèche)

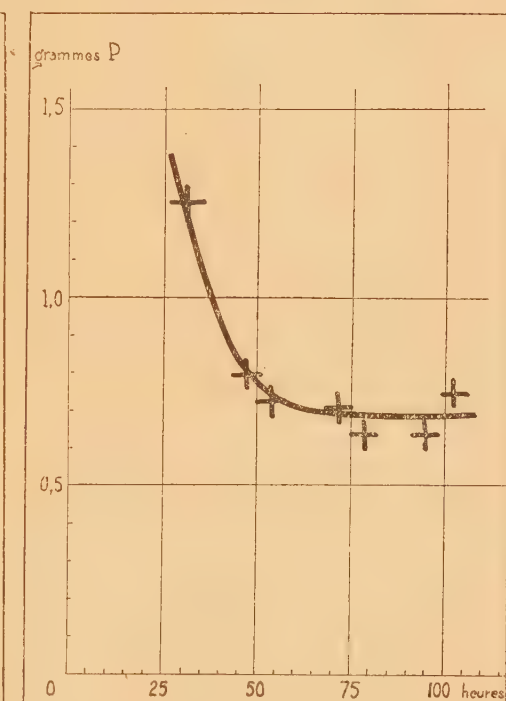


Fig 7 Variation de la teneur en phosphore du mycélium avec le temps de culture (en grammes pour 100 gr de matière sèche)

Portons sur un graphique en abscisses les temps en heures, en ordonnées les quantités de phosphore fixées par 100 gr. de mycélium. La courbe représentant la variation de la teneur en phosphore par rapport au temps de culture se rapproché d'une branche d'hyperbole. La quantité de phosphore fixée par 100 gr. de matière sèche, diminue très rapidement durant les premières heures de culture. A partir d'une certaine époque, elle demeure constante. C'est après 47 heures dans la première expérience, après 53 heures dans la 2^e expérience, que la teneur en phosphore du mycélium conserve une valeur constante. D'après la valeur du poids sec de substance formée, on peut admettre que le mycélium est près d'avoir atteint l'état adulte lorsque se produit cette stabilisation. Le poids de matière vivante formée représente dans un cas 82 %, dans l'autre 64 % du poids maximum qu'atteindra la récolte. Or, dans la cellule, la partie la plus riche en phosphore est toujours le noyau et d'autre part, la proportion de matière nucléaire dans la cellule est particulièrement importante lorsque la cellule est jeune, et qu'elle se multiplie rapidement par caryokynèse. Lorsque la cellule atteint l'état adulte, le rythme des segmentations diminue, et l'importance de la quantité de matière nucléaire contenue dans la cellule, diminue par rapport à celle que prennent le plasma, les vacuoles, la membrane, etc...

Il est probable que la stabilisation de la teneur en phosphore du mycélium, est en rapport avec ces faits.

Remarque. — Certains auteurs ont constaté une absorption rapide du phosphore lorsque la fructification est près de se produire — le phosphore étant, ensuite, rejeté peu à peu dans le milieu. Il est à remarquer que la fructification se produit justement lorsque les cellules, arrivées à l'état adulte, cessent de se multiplier par caryokynèse — et où par conséquent la proportion de matière nucléaire diminue.

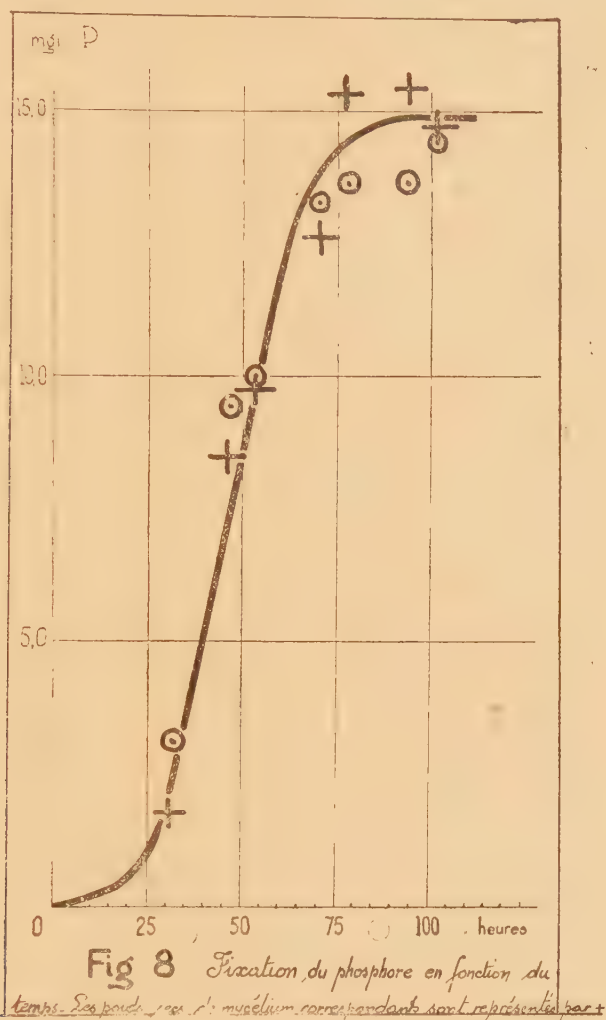
Si l'on étudie l'évolution de la composition minérale du mycélium entre la 50^e et la 100^e heure de végétation, on peut affirmer que :

a) Le phosphore fixé par le mycélium augmente avec le temps de culture suivant une loi analogue à celle qui régit l'augmentation de poids du mycélium. Comme la courbe de fixation du magnésium en fonction du temps, la courbe de fixation du phosphore en fonction du temps, est pratiquement parallèle à la courbe de croissance du champignon.

Ces courbes se confondent à peu près sur un graphique où les ordonnées sont convenablement choisies (fig. 8 et 9).

b) En conséquence la courbe représentant les masses de phosphore fixées par le mycélium en fonction du poids sec de ce mycélium, est une droite. C'est-à-dire que la concentration du phosphore à l'intérieur de la matière vivante reste constante.

La courbe représentant la quantité de phosphore fixé en fonction du poids du mycélium, peut être en première approximation assi-

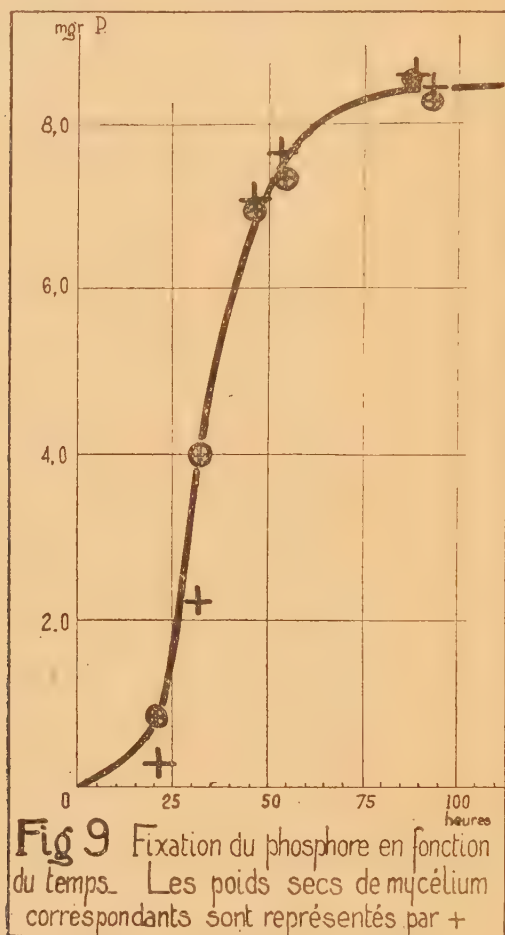


milée à une droite. Sur le graphique les erreurs par rapport à cette droite sont (fig. 10) :

+ 5 %, — 4,2 %, — 4 %, + 2 %, + 3,5 % pour la 1^{re} expérience et + 3,2 %, — 2 %, + 1,5 %, + 7,8 %, — 6,6 % — 6,5 % pour la 2^e expérience.

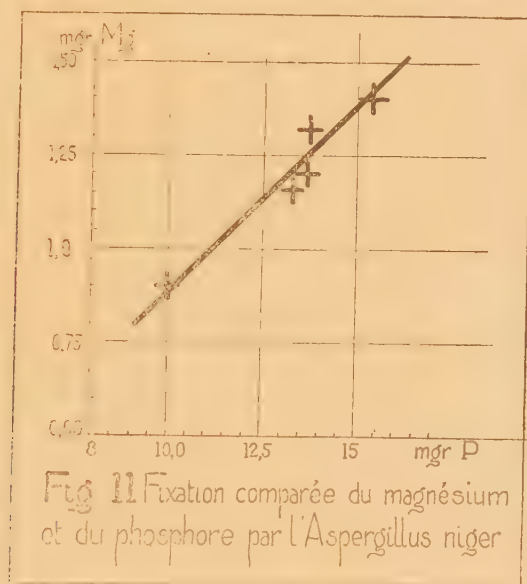
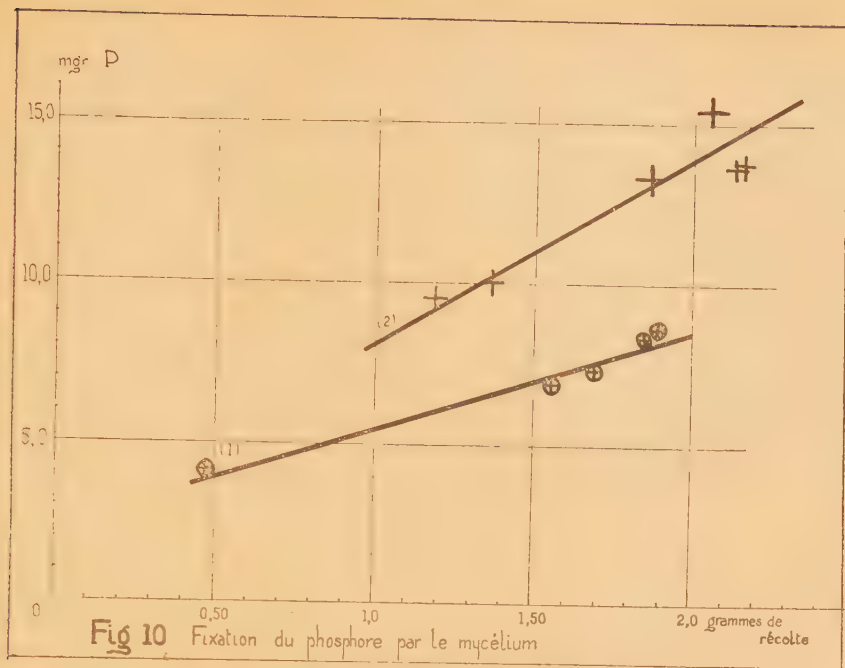
La fixation du magnésium par le mycélium, n'a été étudiée qu'à partir de la 31^e heure de végétation. Elle subit peut être elle aussi une

variation importante. Il est indispensable de préciser l'âge du mycélium étudié, lorsqu'on étudie la variation du poids de ce mycélium en fonction des masses de magnésium et de phosphore qu'il a utilisées.



D. — CONCLUSIONS.

S'il est précisé que les faits suivants ne sont vrais qu'entre la 50^e et la 100^e heure de culture environ, on peut dire que la fixation du magnésium et du phosphore par le mycélium, s'effectue de façon parallèle au cours du développement. Les quantités fixées de ces deux constituants suivent exactement la courbe de croissance du champignon. Il résulte de ce fait qu'à chaque instant les quantités fixées de phosphore et de magnésium sont dans un rapport constant.



La courbe représentant la masse de magnésium fixé en fonction de la masse de phosphore fixé, est une droite (fig. 11).

Ce fait souligne l'étroitesse des rapports existants, pour la physiologie de la matière vivante, entre le métabolisme du magnésium et

celui du phosphore. Il sera en outre utilisé plus tard. (Voir plus loin, page 159.)

Remarque. — Alors que, entre la 50^e et la 100^e heure de culture, les masses de magnésium et de phosphore fixées demeurent dans un rapport constant avec le poids du mycélium, le rapport du poids total des cendres au poids du mycélium sec, décroît constamment lorsque le champignon vieillit.

Par conséquent parmi les éléments minéraux fixés, il en est, dont la proportion dans le mycélium diminue au cours de la croissance ; mais l'évolution de la teneur en magnésium et de la teneur en phosphore du mycélium est différente de l'évolution de la teneur en cendres globales. — Le magnésium et le phosphore se trouvent en quantités fixes dans le mycélium entre la 50^e et la 100^e heure de végétation de celui-ci, c'est-à-dire durant la période de vie adulte du mycélium.

CHAPITRE II

Modifications apportées aux courbes de croissance en fonction du temps, par des variations de la teneur en magnésium du liquide nutritif

L'étude de la courbe de croissance en fonction du temps a montré qu'il existe une région, dans la partie moyenne de cette courbe, où la croissance est directement proportionnelle au temps. L'accroissement du poids dans cette région est proportionnel au temps, et on peut

$$\text{écrire : } \frac{dP}{dt} = V.$$

Cette équation est vraie entre la 30^e et la 70^e heure de culture, dans les conditions de milieu précisées au chapitre précédent.

Dans cet intervalle de temps on peut donc déterminer une vitesse de croissance uniforme qui est égale au coefficient angulaire de la droite qui se confond avec la courbe des poids.

La vitesse de croissance ainsi définie est-elle invariable ou au contraire dépend-elle des conditions de milieu? On peut constater qu'elle varie très largement avec de nombreuses causes. Notamment avec l'origine des conidies qui ont servi à ensemercer; les variations de température interviennent aussi pour modifier la vitesse de croissance.

Mais dans un certain milieu et à une température bien déterminée, la vitesse de croissance peut varier avec d'autres facteurs.

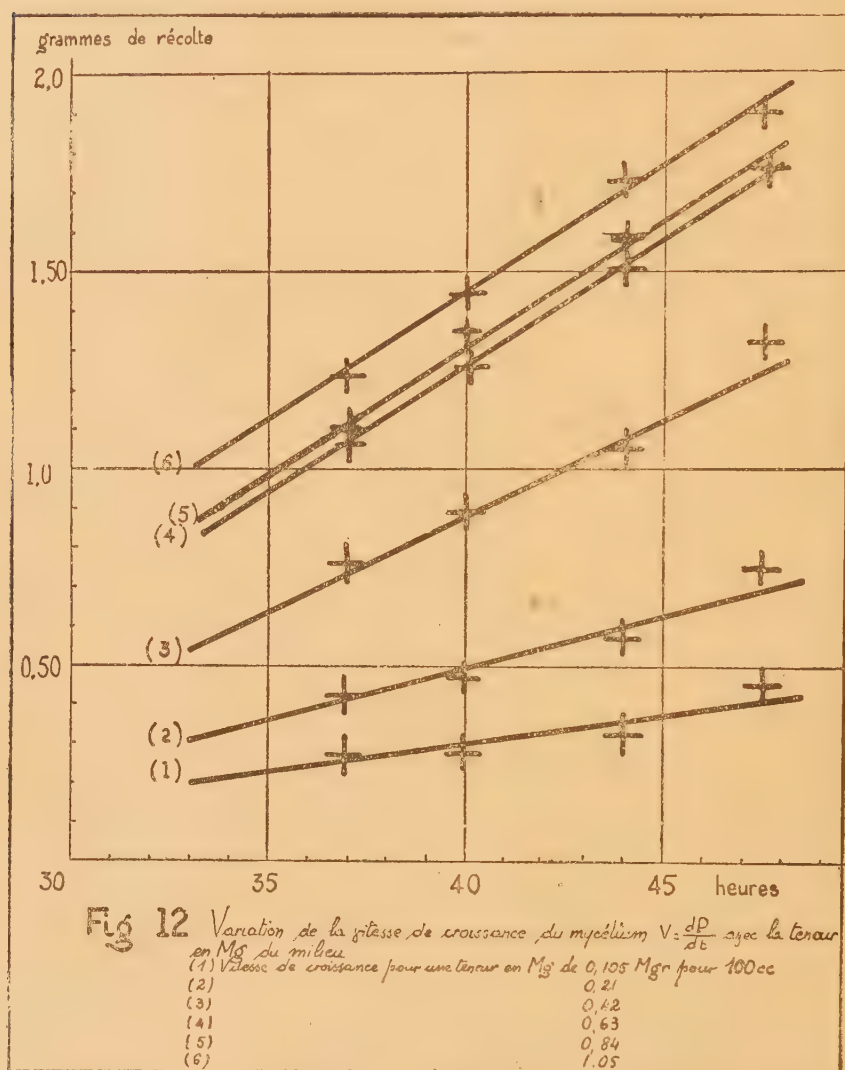
En particulier, *les variations de la teneur en magnésium du milieu ont une influence importante sur la vitesse de croissance du mycélium d'Aspergillus niger.*

1. — Expériences.

Pour être en mesure de déterminer la vitesse de croissance il faut nous placer dans des conditions où ces mesures sont

possibles, c'est-à-dire où la croissance est proportionnelle au temps.

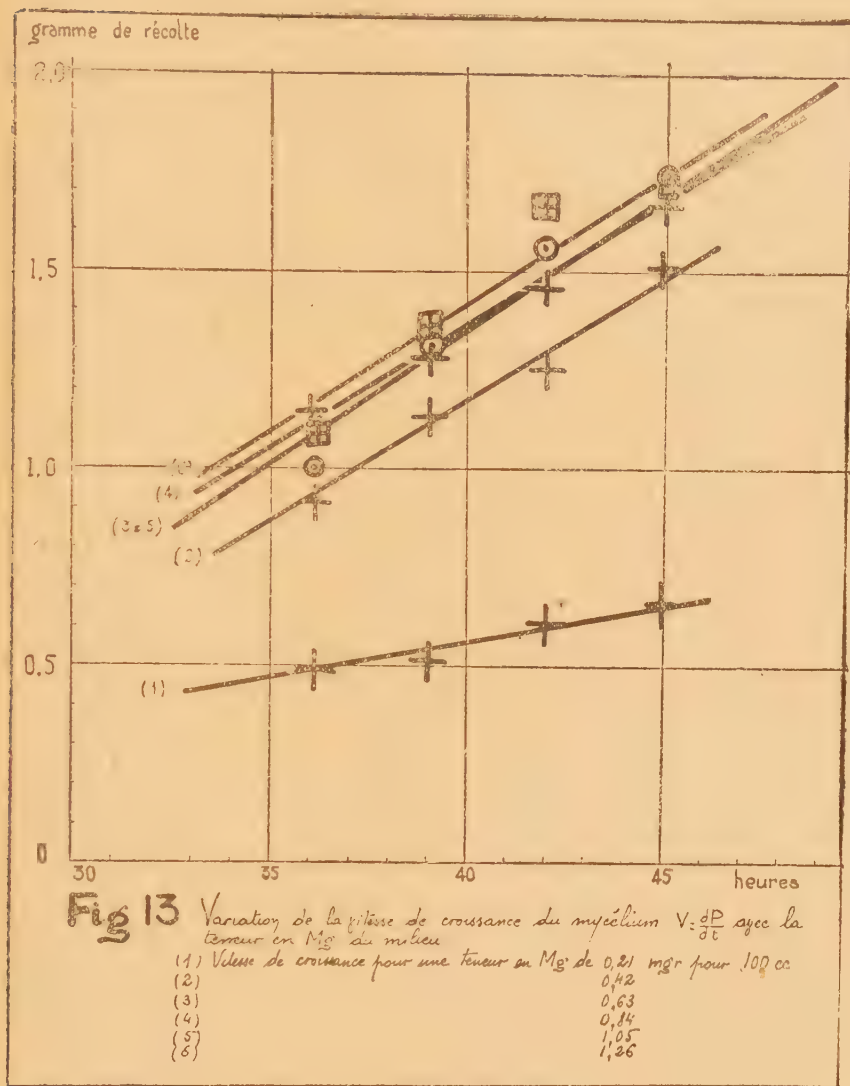
Toutes les expériences concernant cette question ont donc été effectuées durant la période de végétation où la courbe de croissance



est linéaire. Les cultures sont portées à l'étuve à 34° pour des durées variables.

Les premières récoltes sont retirées de l'étuve au bout de 36 à 37 heures de culture, les dernières après 45 à 47 heures de culture.

Dans cet intervalle, et pour chaque temps, la vitesse de croissance supposée uniforme comme l'indique l'expérience précédente, est mesurée par le quotient $\frac{\Delta P.}{\Delta t}$.



Liquide de culture. — La source de magnésium du liquide de Raulin normal est constituée par du carbonate de magnésium à

raison de 0 gr. 40 par litre de liquide nutritif — soit 11,5 mgr. de magnésium pour 100 cm³.

Nous avons constaté qu'aux environs de cette teneur il est impossible d'observer aucune modification de la vitesse de croissance du mycélium, lorsque varie la concentration en magnésium du liquide nutritif.

Les variations de vitesse n'apparaissent qu'aux basses concentrations. L'influence du magnésium sur la vitesse de croissance du mycélium ne peut donc être mise en évidence que par une restriction très prononcée de la concentration en magnésium du milieu.

Les cultures sont faites dans des ballons Pyrex à fond plat de 250 cm³ contenant 125 cm³ de liquide de culture.

Ce liquide diffère du liquide précédemment employé par la suppression du carbonate de magnésium. Le magnésium est ajouté séparément dans chaque ballon, sous forme d'une solution titrée de chlorure de magnésium¹.

On enseme avec des conidies d'*Aspergillus niger* abondamment étalées sur le liquide de culture.

On porte à l'étuve, à 34°. Après récolte, on lave le mycélium, on l'exprime, on le sèche à 105° et on pèse.

2. — Résultats.

Voici les résultats des expériences. Chaque nombre est la moyenne de 2 échantillons.

Expérience n° 1.

TEMPS DE CULTURE	CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³					
	0,105	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05
37 h.	0,255	0,415	0,762	1,077	1,096	1,230
40 h.	0,292	0,470	0,889	1,272	1,350	1,446
44 h.	0,325	0,569	1,053	1,505	1,587	1,735
47 h. 1/2	0,450	0,750	1,349	1,748	1,740	1,900
Vitesse moyenne	0,14	0,26	0,48	0,64	0,64	0,65

Les chiffres représentent les poids de la récolte séchée à 105°, exprimés en grammes.

1. Nous avons vérifié que les variations de la teneur en chlore dans les limites envisagées ici, sont sans influence sur la vitesse de développement. (Voir plus loin p. 113.) Les résultats obtenus, lors de la variation de la teneur en Cl² Mg sont donc entièrement imputables à la variation de la teneur en magnésium.

Expérience n° 2.

TEMPS DE CULTURE	CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³					
	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26
36 h.	0,489	0,913	1,135	1,149	1,011	1,092
39 h.	0,522	1,115	1,278	1,257	1,300	1,348
42 h. 1/4	0,601	1,248	1,451	1,539	1,541	1,653
45 h.	0,667	1,500	1,720	1,672	1,661	1,695
Vitesse moyenne	0,18	0,62	0,67	0,62	0,67	0,64

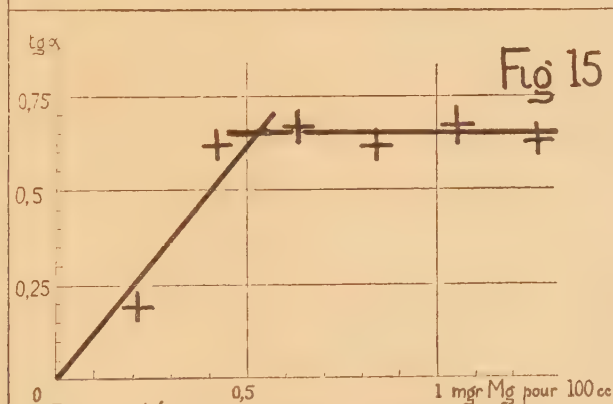
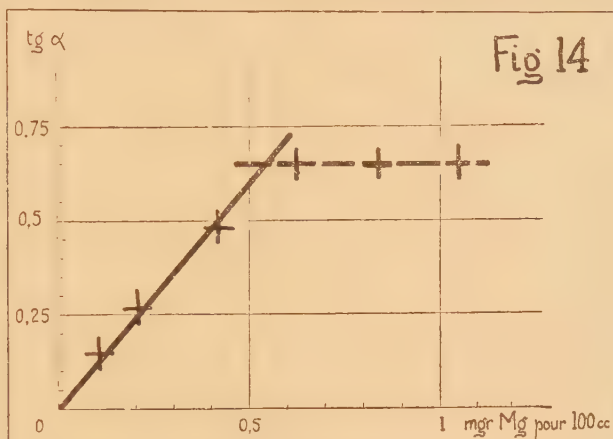


Fig 14 & 15 Variation du coefficient angulaire de la droite

$$V = \frac{dP}{dt} (\text{tg } \alpha) \text{ avec la concentration du magnésium}$$

1° Le poids de récolte obtenu au bout d'un même temps de culture, par exemple 40 heures, va en croissant avec la teneur en magnésium du milieu.

Nous laisserons pour l'instant de côté l'étude des relations de la teneur en magnésium du milieu avec le poids de récolte obtenu pendant un temps donné.

2° Pour chacune des teneurs en magnésium, nous porterons sur un graphique les temps en abscisses, et en ordonnées les poids de matière sèche récoltée (fig. 12 et 13).

Les temps étant choisis de manière à nous trouver dans la zone de développement rectiligne, la courbe de croissance relative à chacune des teneurs en magnésium est un segment de droite.

Le coefficient angulaire de chacun de ces segments de droite mesure la vitesse de croissance $V = \frac{dP}{dt}$

Expérience n° 1 (fig. 12).

Concentration en magnésium	0,105	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05
Vitesse $V = \frac{dP}{dt}$	0,14	0,26	0,48	0,64	0,64	0,65

Expérience n° 2 (fig. 13).

Concentration en magnésium	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26
Vitesse $V = \frac{dP}{dt}$	0,18	0,62	0,67	0,62	0,67	0,64

3° Portons en abscisses les concentrations en magnésium, en ordonnées les vitesses de croissance correspondantes, mesurées par le coefficient angulaire de la tangente à la courbe de croissance (fig. 14 et 15).

Nous obtenons ainsi 2 séries de points qui s'alignent pratiquement sur 2 segments de droites. Le second segment est sensiblement parallèle à l'axe des x , et coupe le premier segment pour une valeur de x égale à 0,54 mgr de magnésium pour 100 cm³ dans la première expé-

rience, et à 0,52 mgr. de magnésium pour 100 cm³ dans la 2^e expérience. Soit une valeur moyenne de 0,53.

Par conséquent au cours de la phase rectiligne du développement :

a) *la vitesse de croissance du mycélium* (dont la valeur est donnée par le coefficient angulaire de la droite représentant cette croissance) *augmente avec la concentration en magnésium du milieu de culture, lorsque cette concentration varie entre 0 et 0,53 mgr. de magnésium pour 100 cm³ de liquide.*

b) *Lorsqu'on élève la concentration en magnésium au-dessus de 0,5 mgr. de magnésium pour 100 cm³, la vitesse de croissance du mycélium demeure à peu près fixe.* En effet, pour des teneurs en magnésium supérieures à 0,5 mgr. pour 100 cm³, les droites représentant l'augmentation de poids du mycélium en fonction du temps de culture demeurent à peu près parallèles, leurs coefficients angulaires sont pratiquement égaux, et la vitesse de croissance des mycéliums est la même, à peu près, pour des cultures effectuées avec des teneurs en magnésium situées au-dessus de 0,5 mgr. pour 100 cm³ de liquide.

Dans la 1^{re} expérience, par exemple, les droites représentant $\frac{dP}{dt}$ sont parallèles lorsque les cultures sont effectuées sur des milieux contenant :

0,63

0,84

1,05 mgr. de magnésium pour 100 cm³ (fig. 12).

Dans la 2^e expérience, les droites représentant $\frac{dP}{dt}$ sont à peu près parallèles lorsque les cultures sont effectuées sur des milieux contenant :

0,42

0,63

0,84

1,05

1,26 mgr. de magnésium pour 100 cm³ (fig. 13).

Il semble donc que la vitesse de croissance est une fonction linéaire de la concentration en magnésium du milieu, pour les concentrations inférieures à 0,5 mgr. pour 100 cm³.

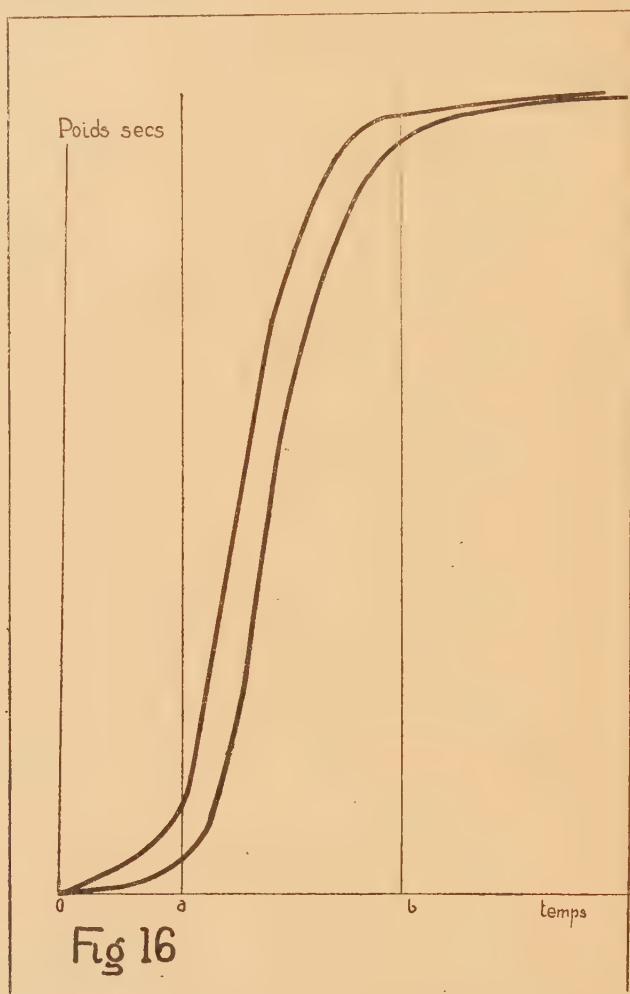
Au-dessus de cette concentration, l'addition de magnésium dans le milieu de culture n'augmente plus la vitesse de croissance du mycélium — ou, tout au moins, ne l'augmente plus de façon sensible.

D'après les graphiques, dans un intervalle de concentrations compris entre 0,5 et 1 mgr. de magnésium pour 100 cm³ par exemple, la vitesse n'augmente pas de valeur.

Cependant, en pratique, toutes les expériences effectuées per-

mettent d'affirmer que l'optimum de récolte n'est jamais atteint au-dessous d'une concentration minimum de 1 mgr. de magnésium pour 100 cm³.

Il semble qu'il y ait là une contradiction. Elle n'est qu'apparente. Les récoltes obtenues au bout d'une soixantaine d'heures de



culture, sur un milieu titrant 1mgr. de magnésium pour 100 cm³ sont toujours supérieures de 25 à 30 % à celles qu'on obtient sur un milieu titrant 0,5 mgr. de magnésium.

D'autre part, les vitesses de développement sur ces deux milieux et au cours de la phase rectiligne de la croissance, sont égales, comme il vient d'être dit.

La masse supplémentaire de 25 à 30 % correspondant au milieu

titrant 1 mgr. de magnésium pour 100 cm³, est donc antérieure à cette phase rectiligne et correspond à une vitesse initiale de développement beaucoup plus grande.

L'action du supplément de magnésium (au-dessus de 0,5 mgr. par 100 cm³) s'exerce donc pendant la première phase de la croissance — dans la période d'intense multiplication cellulaire où la vitesse est constamment croissante (partie initiale et exponentielle de la courbe, comprise entre *O* et *a*, la phase linéaire de croissance étant comprise entre *a* et *b*).

C'est pourquoi dès les premières heures de cultures les poids de récolte obtenus sont améliorés par l'augmentation de la teneur en magnésium du milieu.

Remarque. — Tout le long de la portion linéaire de la courbe la production de matière vivante est réglée par une loi de la forme $P = Ax + B$. (x = concentration en magnésium).

La vitesse de l'ensemble des réactions de synthèses, mesurée par la vitesse du développement, est réglée par celle de la réaction la plus lente. Or, le magnésium règle la vitesse de fabrication du mycélium, proportionnellement à sa teneur. *On est donc conduit à admettre qu'il intervient dans une réaction essentielle et primordiale de ces synthèses.*

DEUXIÈME PARTIE

COURBES DE RÉCOLTE OBTENUES EN FONCTION
DE LA CONCENTRATION DU MILIEU
EN MAGNÉSIUM $\frac{dP}{dx}$, A TEMPS DE CULTURE
CONSTANT.

CHAPITRE III

Cultures en milieux limités

1. — Loi de Mitscherlich.

Le mycélium d'*Aspergillus niger* cultivé en surface, sur un milieu liquide, dans un récipient de forme donnée, se développe avec une activité qui peut être mesurée par le poids de matière vivante, séchée à 100°, constituée en un temps donné. Nous avons, plus haut, envisagé l'action du facteur temps sur le développement; nous avons constaté que, toutes autres conditions étant constantes, le poids de matière vivante édifiée dépend du temps suivant une relation qui se traduit par une courbe en S. Nous avons noté qu'il existe une période de végétation au cours de laquelle le développement, ΔP est très sensiblement proportionnel au temps : $\Delta P = v. \Delta t$; la vitesse de développement est constante au cours de cette période.

Mais il existe évidemment un nombre important de facteurs susceptibles de modifier en plus ou en moins le poids de la récolte obtenue au bout d'un temps bien déterminé de végétation. Il faut citer parmi ces facteurs : la composition du liquide de culture, la composition de l'atmosphère et son degré hygrométrique, la température.

Nous étudierons, dans ce chapitre, quelles sont les modifications apportées au développement d'*Aspergillus niger* par des modifi-

cations simples de la composition du liquide nutritif. Le milieu étant complexe, nous nous efforcerons de ne faire porter les modifications que sur une seule variable. Nous étudierons surtout le développement en fonction de la masse ou de la concentration du magnésium présent dans le milieu. Nous opérerons toujours dans des conditions par ailleurs identiques, et notamment, à *temps de culture*, *température*, *surface* et *aération*, constants.

De nombreux auteurs se sont préoccupés de trouver une loi traduisant la relation qui existe entre les « rendements » et la composition du milieu sur lequel la plante est cultivée.

Une hypothèse assez ancienne, celle de *Liebig* (14), admet que l'importance de la récolte dépend de la quantité fournie, à la plante, de l'élément qui est le moins abondant dans le milieu.

D'après *Wagner* (15), puis *Mayer* (16) et *Blackmann* (17), la récolte croîtrait d'abord en fonction directe de l'augmentation de la quantité de cet élément; puis, lorsqu'il est en quantité suffisante dans le milieu, c'est un autre élément qui se trouve en quantité minimum et la courbe change d'aspect.

En 1895, *Liebscher* (18) s'est élevé contre cette conception, puis *Th. Pfeiffer* (19), *E. G. Pringsheim* (20).

La loi de *Liebig*, dite « loi du minimum », n'est qu'une loi qualitative. En raison de la forme des courbes de récolte en fonction des quantités de matières nutritives apportées au sol, il a paru possible d'exprimer mathématiquement les résultats à l'aide de formules, du type de la formule suivante (1).

$$P = \pi x^{\frac{1}{q}}$$

P poids de la récolte,

x concentration du milieu en un élément

π et q , constantes, avec $\frac{1}{q} < 1$.

Plusieurs autres lois ont été proposées, pour exprimer le poids des récoltes obtenues en fonction de la teneur du milieu en un certain élément.

Boresch (21) propose une fonction hyperbolique.

Sapehin (22), puis *Niklas* et *Miller* (23), une fonction parabolique.

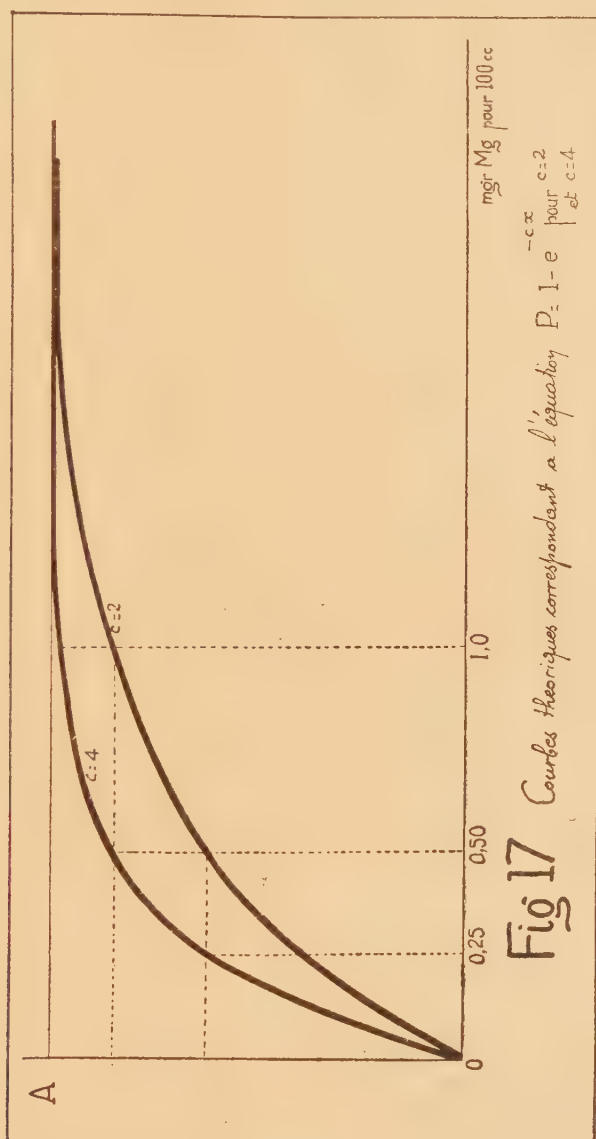
Envisageant les choses d'un point de vue agronomique, *Mitscherlich* (24) a établi, à propos de végétaux supérieurs, que l'accroissement dy du poids de récolte obtenu par une certaine addition d'engrais, est proportionnel :

— à la différence ($A - y$) entre le poids maximum de récolte et le poids de récolte obtenu.

— à la quantité dx d'engrais ajouté.

— à un facteur c , caractéristique, d'après Mitscherlich, de chacun des principes fertilisants du sol ; ce qui se traduit par l'équation suivante :

$$dy = c \, dx (A - y)$$



Lavollay, dans sa thèse (1), a d'ailleurs montré par des exemples tirés de différents travaux, que cette formule et la précédente :

$P = \pi x \frac{1}{q}$, peuvent s'appliquer, dans le cas de cultures très variées, avec des approximations du même ordre (dans des limites de valabilité bien déterminées).

La loi de Mitscherlich exprime le fait que, lorsqu'un élément se trouve en grande quantité dans un milieu, une augmentation dx de la quantité présente, produit un effet très réduit sur le poids de la récolte. Au contraire, lorsque cet élément se trouve en quantité restreinte, la même augmentation dx de la masse présente a un effet relativement beaucoup plus important sur le poids de la récolte.

D'une façon générale, l'augmentation du poids de récolte, obtenue par cette addition d'engrais, est d'autant plus considérable que cet élément est en quantité plus faible dans le milieu.

L'augmentation du poids de la récolte sera, pour l'addition d'une même masse d'engrais, d'autant plus sensible que l'on est plus éloigné de l'optimum de poids.

On traduit généralement la formule de Mitscherlich d'après *Baule* (25) sous la forme exponentielle suivante : $P = A (1 - e^{-cx})$ où P est le poids de la récolte obtenue pour une quantité x de l'élément fertilisant, A étant le poids maximum de récolte, e la base des logarithmes népériens — et c le coefficient défini plus haut.

La figure 17 donne les courbes théoriques pour $c = 2$ et $c = 4$, qui représentent les valeurs du poids P en fonction de x .

Dans le cas des cultures d'*Aspergillus niger*, nous avons pu traduire les courbes de croissance en fonction de la teneur en *magnésium*, avec une approximation très étroite, par une formule identique à celle de Mitscherlich.

Nous avons fait d'autres expériences où l'on faisait varier la teneur en *phosphore* ou la teneur en *potassium* du milieu de culture ; nous avons ainsi pu montrer que les courbes de croissance, en fonction de la teneur en ces deux éléments, peuvent être traduites, comme dans le cas du *magnésium*, par une formule analogue à celle de Mitscherlich (voir plus loin pp. 43 à 55).

2. — Résultats expérimentaux.

A. — COURBE DES RÉCOLTES OBTENUES EN FONCTION DE LA TENEUR INITIALE EN MAGNÉSIUM.

Les cultures sont faites dans des ballons Pyrex à fond plat de 250 cm³ contenant 125 cm³ de liquide. Le liquide employé est le liquide de Raulin modifié comme il a été dit plus haut. Le *magnésium* est ajouté sous forme d'une solution de chlorure de *magnésium*.

Le liquide type de Raulin contient, dans 100 cm³, 11,5 mgr. de magnésium. Aux environs de cette valeur, une variation même assez prononcée de la teneur en magnésium dans le liquide, n'amène aucun changement dans le poids de la récolte.

Nous avons dû abaisser nettement cette teneur pour étudier l'action de ses variations sur l'*Aspergillus niger*.

Les premières expériences, où les quantités essayées s'étagaient entre 0,3 mgr. et 16,3 mgr. pour 100 cm³, ont montré que la zone des teneurs particulièrement intéressantes est comprise entre 0 et 1,5 mgr. pour 100 cm³.

Au-dessus de 2 mgr. pour 100 cm³ de liquide, il n'y avait plus aucune amélioration de la récolte.

En pratique, le maximum de récolte est même atteint pour 1 mgr. pour 100 cm³, dans la plupart des cas. Le domaine des teneurs en magnésium à étudier, est donc relativement restreint.

Choix du maximum. — L'expérience montre qu'il est impossible de tenir pour constant, au cours d'expériences successives, la valeur du maximum de récolte, c'est-à-dire de la masse de récolte obtenue pour des teneurs en magnésium supérieures à 1,5 mgr. et dépassant 2 mgr. pour 100 cm³.

Plusieurs facteurs peuvent intervenir pour le modifier. La température de l'étuve peut varier : la vitesse de croissance est alors modifiée, et le poids de récolte obtenu après un certain temps de culture, est également différent.

D'autre part, les conidies peuvent germer de façon plus ou moins rapide. Il est très difficile d'obtenir, en quantité, et à des intervalles de temps de quelques semaines, des conidies d'une qualité constante. Suivant leur âge, et aussi suivant leur origine, les conidies germent de façon variable. Le mycélium fourni dans les premières 24 heures de culture, présente des différences très appréciables, même à l'œil, suivant les expériences.

Au cours de nos essais, nous avons obtenu les valeurs suivantes pour le maximum de récolte : A = 2 gr. 00 — 1 gr. 70 — 2 gr. 45 (72 heures de culture à 34°).

Or, dans des conditions de milieu différentes, les récoltes sont, comme le montre l'expérience, toujours proportionnelles à l'optimum. Les résultats de chaque expérience ne sont donc comparables que si on les rapporte au maximum, pris comme unité, qui doit être chaque fois déterminé avec soin.

Nous avons posé, pour chaque expérience, $A = 100$. Les valeurs de P obtenues pour chaque valeur de x ont été évaluées dans un système d'unités où $A = 100$

on a ainsi : $P = 100 (1 - e^{-cx})$.

La valeur de A est facile à déterminer. Il suffit d'obtenir un certain

nombre de poids de récolte situés au plateau, dans la région où le maximum est nettement obtenu. Les poids de matière sèche varient de façon très restreinte dans cette région — et la moyenne des poids secs donne de façon très exacte la valeur du maximum.

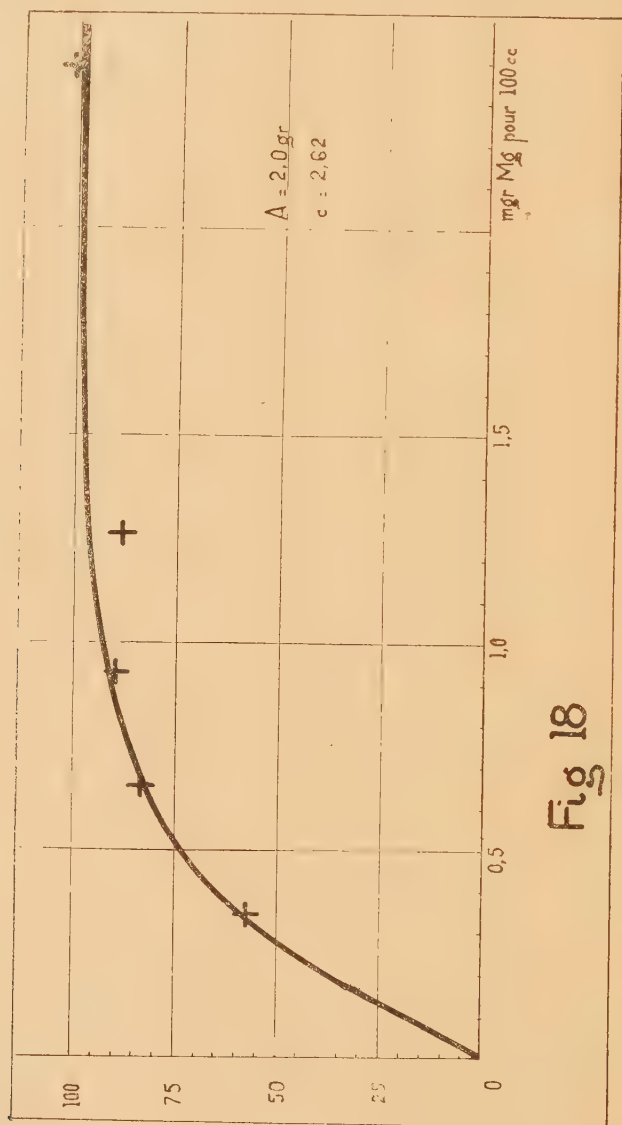


Fig 18

Pour chaque expérience, il est possible de déterminer la valeur du coefficient c , valeur à partir de laquelle on calcule la courbe de croissance théorique. Nous verrons plus loin, page 79, comment est déterminée la valeur du coefficient c .

Voici les chiffres expérimentaux.

$$\text{Expérience n}^{\circ} 1 \text{ (fig. 18)} \left\{ \begin{array}{l} A = 2,0 \\ c = 2,62 \end{array} \right.$$

x = TENEUR EN MAGNÉSIUM POUR 100 CM ³ (EN MGR.)	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
0,33	1,16	58,0
0,64	1,66	82,9
0,91	1,79	89,5
1,25	1,76	88,1
2,38	2,02	100,9
3,60	1,96	98,25

Calcul de la courbe théorique.

x	$x \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CALCULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,33	0,3762	1,6238	42,0	58,0	58,0	0
0,64	0,7276	1,2724	18,7	81,4	82,9	+ 1,8
0,91	1,0374	0,9626	9,2	90,8	89,5	— 1,4
1,25	1,4250	0,5750	3,8	96,2	88,1	— 9,2
2,38	2,7132	1,2868	1,9	98,1	100,9	+ 2,8
3,60	4,104	3,896	0,01	99,99	98,25	— 2,8

Erreur moyenne : 2,8 %

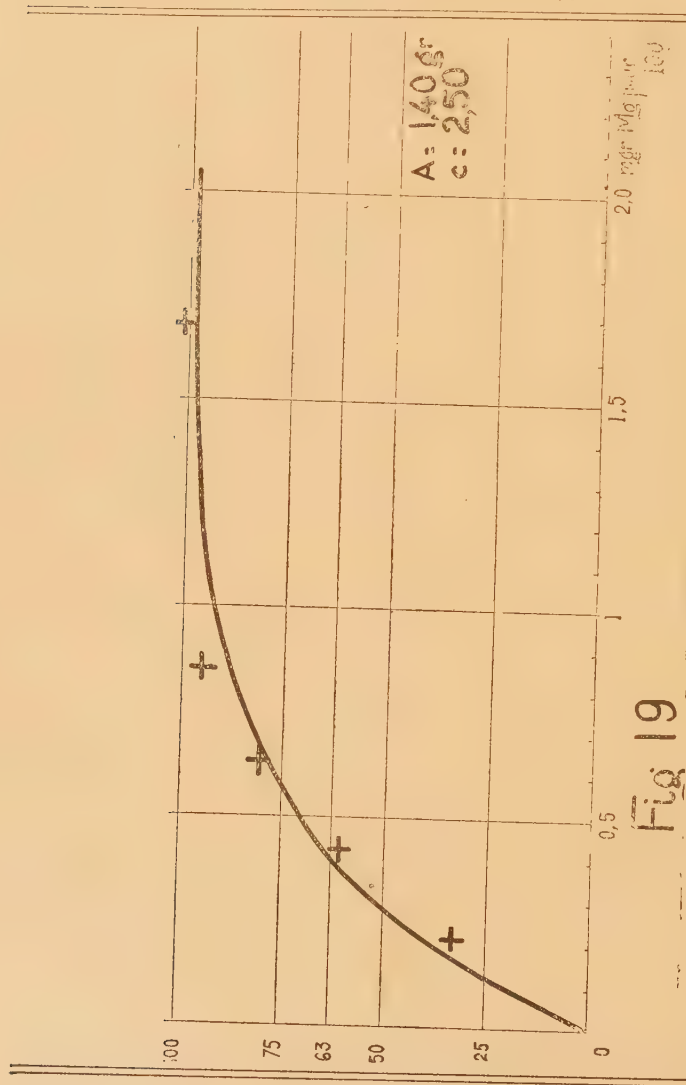
$$\text{Expérience n}^{\circ} 2 \text{ (fig. 19)} \left\{ \begin{array}{l} A = 1,40 \\ c = 2,50 \end{array} \right.$$

x = TENEUR EN MAGNÉSIUM POUR 100 CM ³ (EN MGR.)	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
0,21	0,46	32,8
0,42	0,85	60,7
0,63	1,13	80,7
0,84	1,34	95,1
1,68	1,42	101,4

Calcul de la courbe théorique.

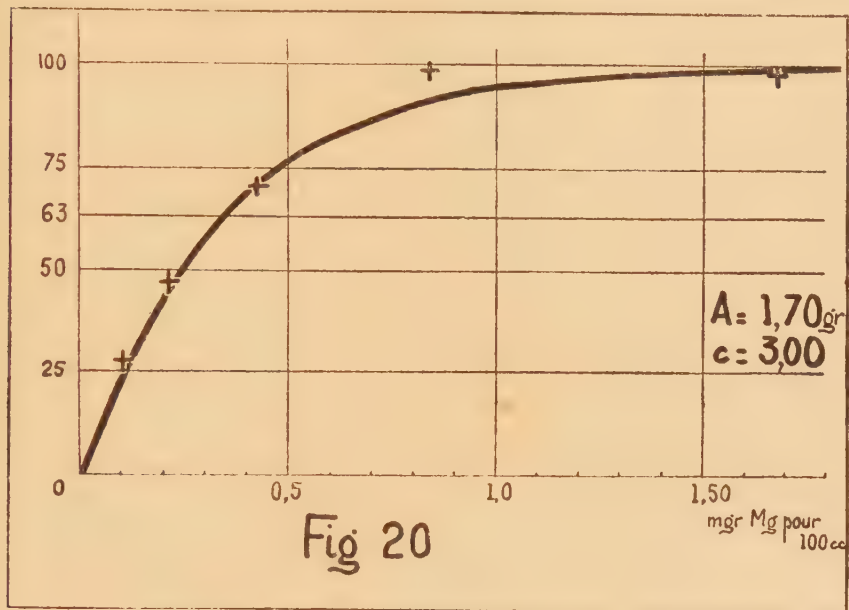
x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A-P)$	$A - P$	POIDS CALCULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,21	0,2273	1,7727	59,3	40,7	32,8	— 19,8
0,42	0,4546	1,5454	35,1	64,9	60,7	— 6,5
0,63	0,6819	1,3187	20,8	79,2	80,7	+ 1,8
0,84	0,9092	1,0908	12,3	87,7	95,1	+ 7,7
1,68	1,8184	0,1816	1,5	98,5	101,4	+ 3,0

Erreur moyenne : 7,7 %



Expérience n° 3 (fig. 20) $\left\{ \begin{array}{l} A = 1,70 \\ c = 3,0 \end{array} \right.$

x = TENEUR EN MAGNÉSIUM POUR 100 CM ³ (EN MGR.)	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
0,105	0,48	28,2
0,21	0,80	47,2
0,42	1,20	70,6
0,84	1,66	98,0
1,68	1,70	100



Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CALCULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,105	0,1367	1,8633	73,0	27,0	28,2	+ 3,6
0,21	0,2734	1,7266	53,3	46,7	47,2	+ 1,0
0,42	0,5468	1,4532	28,4	71,6	70,6	- 1,5
0,84	1,0936	0,9064	8,0	92,0	98,0	+ 6
1,68	2,1872	1,8128	0,6	99,4	100	+ 0,5

Erreur moyenne : 3,2 %

Expérience n° 4 (fig. 21) $\left\{ \begin{array}{l} A = 2,40 \\ c = 2,30 \end{array} \right.$

x = TENEUR EN MAGNÉSIUM POUR 100 CM ³ (EN MGR.)	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
0,21	0,81	33,9
0,63	1,86	77,9
0,85	2,14	89,2
1,05	2,27	94,9
1,47	2,31	96,4
2,10	2,40	100

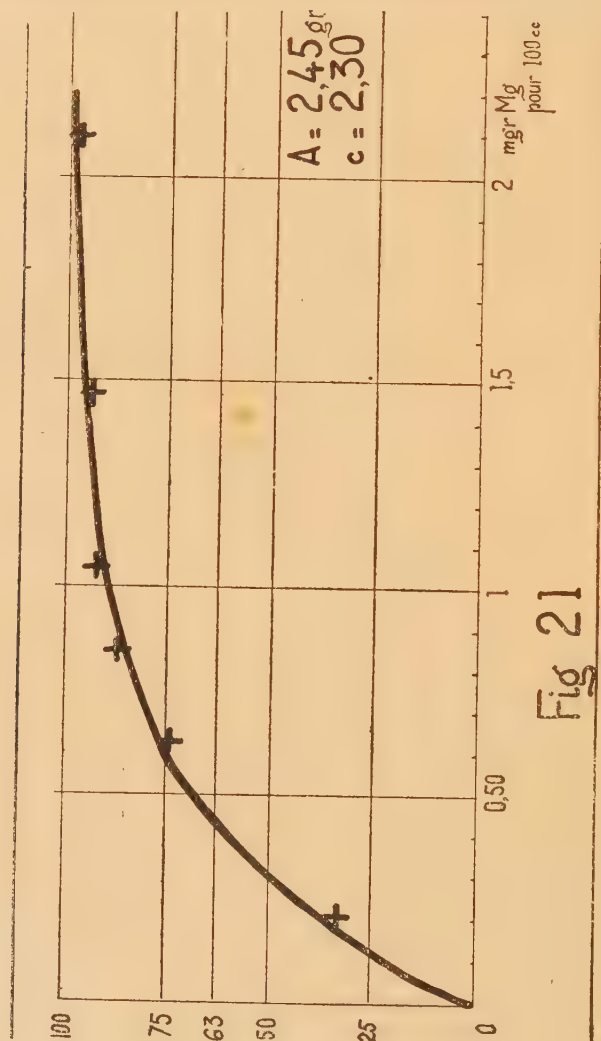


Fig 21

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$\frac{2 - cx \log e}{\log (A - P)}$	$A - P$	POIDS CALCULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,21	0,2096	1,7904	61,7	38,3	33,9	+ 14
0,63	0,6288	1,3712	23,5	76,5	77,9	+ 1,8
0,85	0,8384	1,1616	14,5	85,5	89,2	+ 4,4
1,05	1,0480	0,9520	9,0	91,0	94,9	+ 4,3
1,47	1,4672	0,5328	3,4	96,6	96,4	— 0,2
2,10	2,0962	1,9038	0,8	99,2	100	+ 0,8
Erreur moyenne : 4,5 %						

Remarque. — Il est fréquent de constater une erreur importante sur la valeur du premier poids de récolte. La valeur trouvée est tantôt supérieure, tantôt inférieure, au poids calculé. Ce n'est donc pas une erreur systématique mais bien une erreur expérimentale due aux irrégularités présentées par le mycélium lorsque le milieu est très défavorable à sa formation.

**B. — COURBE DES RÉCOLTES OBTENUES EN FONCTION
DE LA TENEUR INITIALE EN PHOSPHORE.**

Les cultures sont effectuées dans des ballons de 250 cm³ de liquide nutritif dont la composition est la suivante :

Glucose.....	50 gr.
Acide tartrique.....	2,67
NO ³ NH ⁴	2,67
SO ⁴ (NH ⁴) ²	0,17
SO ⁴ Mg, 7 H ² O.....	dose variable
CO ³ K ²	0,40
SO ⁴ Fe.....	0,047
SiO ³ K ²	0,047
SO ⁴ Mn, 4 H ² O.....	0,008
SO ⁴ Zn, 7 H ² O.....	0,005
Eau distillée.....	q. s. p. 1 litre

Pour des raisons qui deviendront claires par la suite (voir pp. 130 à 159) nous avons utilisé dans cette étude des milieux de richesse en magnésium variée.

Le phosphore du milieu de Raulin est offert sous forme de PO⁴ H² NH⁴, à la dose de 0,4 gr. pour 1 litre .

Dans nos expériences, nous ferons varier la teneur en phosphore de 1,35 mgr. pour 100 cm³ à 16,2 mgr. pour 100 cm³ de liquide.

La courbe de récolte de l'*Aspergillus* en fonction de la teneur en phosphore du milieu, est ainsi établie avec une approximation très suffisante.

Expérience n° 1 (fig. 22).

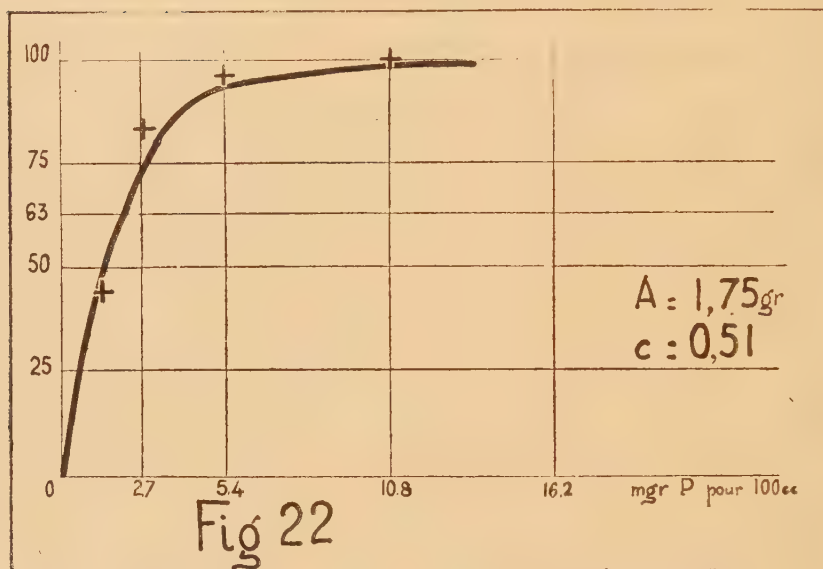
Teneur en magnésium du liquide nutritif : 1,97 mgr. pour 100 cm³.

Les résultats sont les suivants :

$$A = 1,75$$

$$c = 0,51$$

$$x_c = 1,96$$



Le maximum ayant pour valeur $A = 1,75$ gr., les poids de récolte rapportés à $A = 100$ sont les suivants :

TENEUR EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
1,35	0,79	44,8
2,7	1,45	83,6
5,4	1,70	96,3
10,8	1,76	100,6

Calcul de la courbe théorique.

$x = \text{TENEUR}$ EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 CM ³	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $-\log (\Lambda - P)$	$\Lambda - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
1,35	0,2988	1,7012	50,3	49,7	44,8	- 9,5
2,7	0,5976	1,4024	25,3	74,7	83,6	+ 12
5,4	1,1952	0,8048	6,4	93,6	96,3	+ 2,8
10,8	2,3904	1,6096	0,4	99,6	100,6	+ 0,4

Expérience n° 2. (fig. 23).

Teneur en magnésium du liquide nutritif 1,28 mgr. pour 100 cm³.

$$\Lambda = 1,90$$

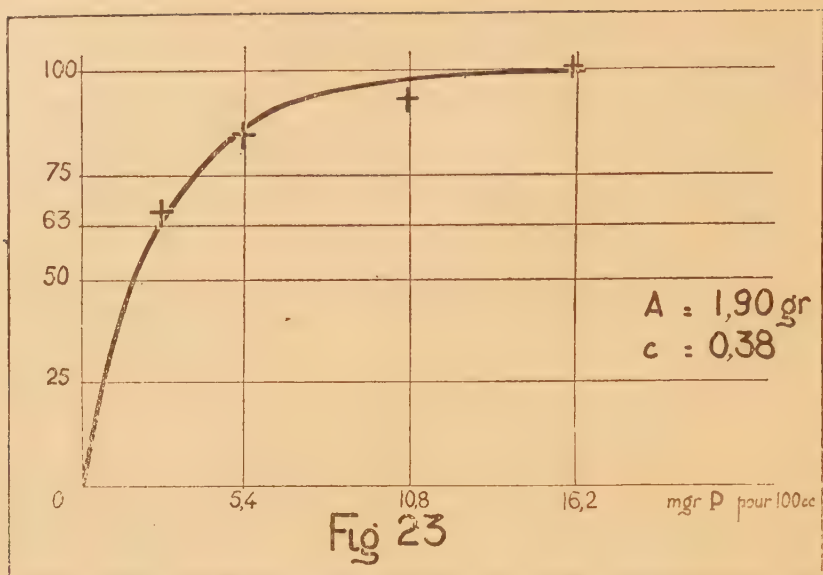
$$c = 0,38$$

$$x_c = 2,63$$

TENEUR EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR $\Lambda = 100$
2,7	1,258	66,2
5,4	1,605	84,4
10,8	1,769	93,1
16,2	1,888	99,4

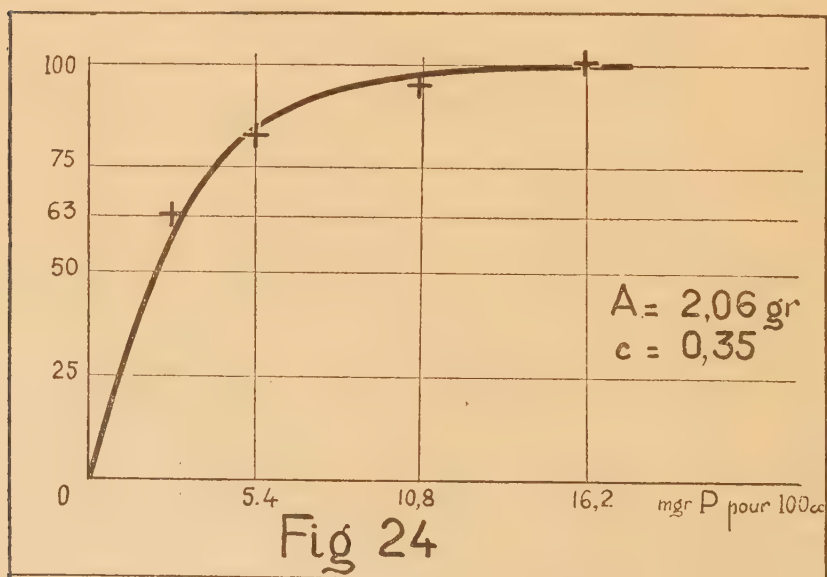
Calcul de la courbe théorique.

$x = \text{TENEUR}$ EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 CM ³	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $-\log (\Lambda - P)$	$\Lambda - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
2,7	0,4452	1,5548	35,9	64,1	66,2	+ 3,2
5,4	0,8904	1,1096	12,9	87,1	84,4	- 3,1
10,8	1,7808	0,2192	1,7	98,3	93,1	- 5,2
16,2	2,6712	1,3288	0,2	99,8	99,4	- 0,4



Expérience n° 3 (fig. 24).

Teneur en magnésium du liquide nutritif : 1,92 mgr. pour 100 cm³.



Les résultats sont les suivants :

$$\begin{aligned} A &= 2,06 \\ c &= 0,35 \\ x_c &= 2,86 \end{aligned}$$

TENEUR EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
2,7	1,313	63,7
5,4	1,710	83,0
10,8	1,956	95,0
16,2	2,057	100

Calcul de la courbe théorique.

x = TENEUR EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 CM ³	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	A - P	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
2,7	0,4141	1,5859	38,5	61,5	63,7	+ 3,6
5,4	0,8282	1,1718	14,8	85,2	83,0	— 2,6
10,8	1,6564	0,3436	2,2	97,8	95,0	— 2,8
16,2	2,4846	1,5154	0,3	99,7	100	+ 0,3

On peut conclure de ces 3 expériences que la loi d'action du phosphore est de la même forme que celle du magnésium et peut se ramener à une équation de la forme $P = A (1 - e^{-cx})$.

Il existe donc, pour le phosphore comme pour le magnésium, un coefficient caractéristique de chaque courbe, suffisant pour la déterminer, lorsqu'on attribue au maximum A une valeur fixe égale à 100.

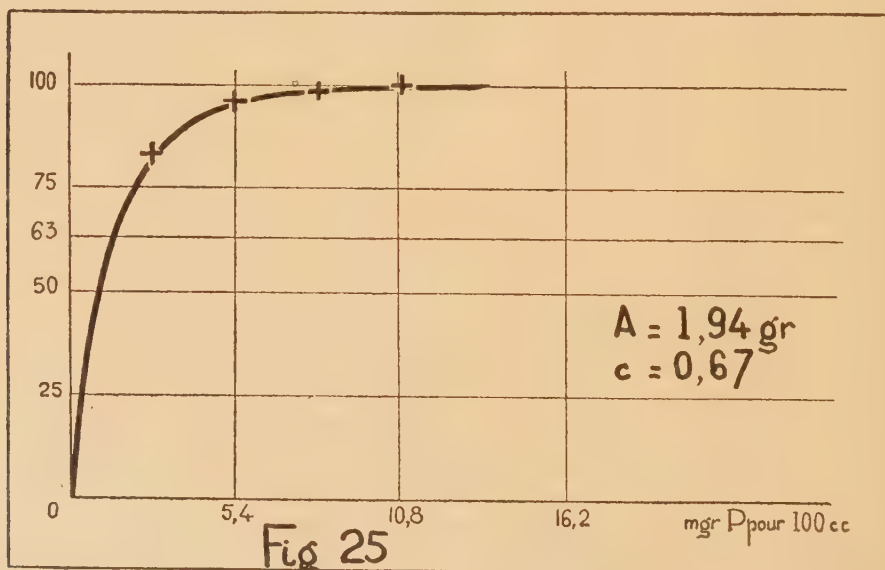
Mais toute variation de la teneur en phosphore de ce milieu entraîne une variation corrélatrice de la teneur en azote, très faible d'ailleurs, puisqu'elle représente, lorsque la teneur en phosphate du milieu varie de 1,35 à 16,2 mgr. de phosphore pour 100 cm³, une variation de 8 % de la teneur en azote du milieu.

Nous avons étudié aussi la loi de récolte de l'*Aspergillus niger* en fonction de la teneur en phosphore du milieu, en employant comme source de phosphore PO⁴ H² K — 0 gr. 47 de PO⁴ H² K — par litre, équivalant au point de vue de l'apport en phosphore à 0,4 gr. de

$\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$ — et fournissant au milieu 108 mgr. de phosphore par litre, soit 10,8 mgr. pour 100 cm^3 .

Lorsqu'on fait varier la teneur du liquide en $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$, de façon à obtenir pour la valeur du phosphore, une variation de 2,7 à 16,2 mgr. pour 100 cm^3 , il se produit une variation corrélative de la teneur en potassium du milieu qui est de $\frac{13,5 \times 39}{31} = 16,4$ mgr. Nous verrons plus loin (pp. 50 à 55) que cette variation n'entraîne que de très faibles variations dans le poids de la récolte, étant donné que l'apport en potassium de 0 gr. 4 par litre de $\text{CO}^3 \text{K}^2$ est presque optimum pour les besoins en potassium du mycélium.

Il faut noter en outre que la morphologie du mycélium est très différente lorsque le milieu de culture contient $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$. Le mycélium reste beaucoup plus mince, son poids maximum est inférieur au poids qu'il atteint ordinairement et les conidies sont beaucoup plus noires, plus abondantes et plus précoces. *Molliard* (26) a déjà signalé que lorsque la teneur du milieu en potassium augmente, surtout lorsqu'elle est en rapport avec une diminution de la teneur en phosphore de ce milieu, il apparaît précocement des conidies très noires sur le mycélium. Nous constatons le même phénomène lorsque nous remplaçons $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$ par une quantité de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$ correspondante au point de vue du phosphore ; il y a augmentation dans le milieu, du rapport $\frac{\text{K}}{\text{P}}$ et de ce fait, apparition très rapide de conidies très noires et abondantes.



Remarque. — *Reeds* (27) signale le fait contraire au sujet du magnésium, l'augmentation du rapport $\frac{\text{Mg}}{\text{P}}$ est défavorable à la formation des conidies. Il est possible d'autre part que le faible poids et l'aspect visqueux des mycéliums cultivés en présence de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$, résultent de la formation dans le milieu de phosphates ou d'hypophosphites, qui d'après *Dox* (28) sont toxiques pour l'*Aspergillus niger*, et peuvent apparaître par réduction des phosphates. Il y aurait, dans ce cas, formation de phosphites et d'hypophosphites à partir de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$, en plus grande quantité que dans le cas de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$.

Voici les chiffres d'une de nos expériences (fig. 25) : x_c et c étant évalués dans le même système d'unités que précédemment.

Le liquide nutritif comporte 0,118 gr. par litre de $\text{SO}^4 \text{Mg}$ comme source de magnésium soit, 1,2 mgr. de Mg pour 100 cm^3

$$\begin{aligned} \Lambda &= 1,94 \\ c &= 0,67 \\ x_c &= 1,49 \end{aligned}$$

Le maximum ayant pour valeur $\Lambda = 1,94$, les poids de récolte pour $\Lambda = 100$, sont les suivants :

TENEUR EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 cm^3	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR $\Lambda = 100$
2,7	1,61	83,1
5,4	1,87	96,6
8,1	1,90	98,1
10,8	1,94	100,1

La valeur du coefficient d'action a été déterminée graphiquement (voir plus loin page 80). La courbe théorique a été calculée ci-dessous :

x = TENEUR EN PHOSPHORE EN MGR. POUR 100 cm^3	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (\Lambda - P)$	$\Lambda - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
2,7	0,783	1,217	16,5	83,5	83,1	— 0,5
5,4	1,566	0,434	2,7	97,3	96,6	— 0,8
8,1	2,349	1,651	0,45	99,55	98,1	— 1,5
10,8	3,132	2,868	0,07	99,9	100,1	+ 0,2

On peut également déterminer une concentration $x_c = \frac{1}{c}$ pour laquelle on obtient un poids de récolte égal à 63 % du maximum.

Il est intéressant, au sujet du coefficient c du phosphore, de faire la remarque suivante : lorsqu'on établit la courbe de récolte de l'*Aspergillus niger* en fonction de la teneur en magnésium, pour des cultures effectuées en ballons, sur 125 cm³ de liquide apportant l'azote sous forme de NO³ NH⁴, les valeurs trouvées pour le coefficient c ont été 2,62

2,32

3,00

3,0

soit en moyenne 2,6 (durée de l'expérience : 72 heures).

Lorsqu'on établit dans les mêmes conditions la courbe de croissance en fonction de la teneur en phosphore, on trouve pour le coefficient c des valeurs égales à 0,51

0,35

0,38

soit en moyenne 0,41 lorsqu'il s'agit de PO⁴ H² NH⁴, en exceptant le chiffre de 0,67 qui correspond à l'action du phosphore à la fois dans un milieu déséquilibré par un défaut de Mg (Mg = 1,2 mgr. pour 100 cm³)¹ et recevant le phosphore sous forme de PO⁴ H² K.

C. — COURBE DES RÉCOLTES OBTENUES EN FONCTION DE LA TENEUR INITIALE EN POTASSIUM.

L'étude de la croissance de l'*Aspergillus niger* en fonction de la concentration en potassium a été menée suivant la même méthode que lorsqu'il s'agissait du phosphore et du magnésium.

Les cultures sont faites dans des ballons Pyrex de 250 cm³, contenant 125 cm³ de liquide nutritif, dont la composition est la suivante :

Glucose.....	50 gr.
Acide tartrique.....	2,66
NO ³ NH ⁴	2,66
PO ³ H ² NH ⁴	0,40
SO ⁴ (NH ⁴) ²	0,17
SO ⁴ Mg 7 H ² O.....	dose variable

1. On notera que dans un milieu moins riche en magnésium (1,2 mgr. pour 100 cm³), le coefficient c du phosphore présente une valeur supérieure.

SiO ³ K ²	0,047
SO ⁴ Fe	0,047
SO ⁴ Mn 4 H ² O	0,008
SO ⁴ Zn 7 H ² O	0,005
SO ⁴ Cu 5 H ² O	0,004
Eau distillée	q. s. p. 1 litre

Le potassium est introduit sous forme de CO³ K² comme dans le liquide de Raulin, où la dose normale est de 40 mgr. de CO³ K² pour 100 cm³, soit 22,6 mgr. de potassium pour 100 cm³.

Trois expériences ont été faites (durée : 72 heures à 34°).

Voici les résultats obtenus, la valeur des coefficients étant évaluée dans le même système d'unités que plus haut. (A la dose de potassium offerte volontairement au mycélium, il convient d'ajouter environ 4,5 mgr. introduits sous forme d'impuretés par les produits employés. Ce chiffre a été calculé par extrapolation.)

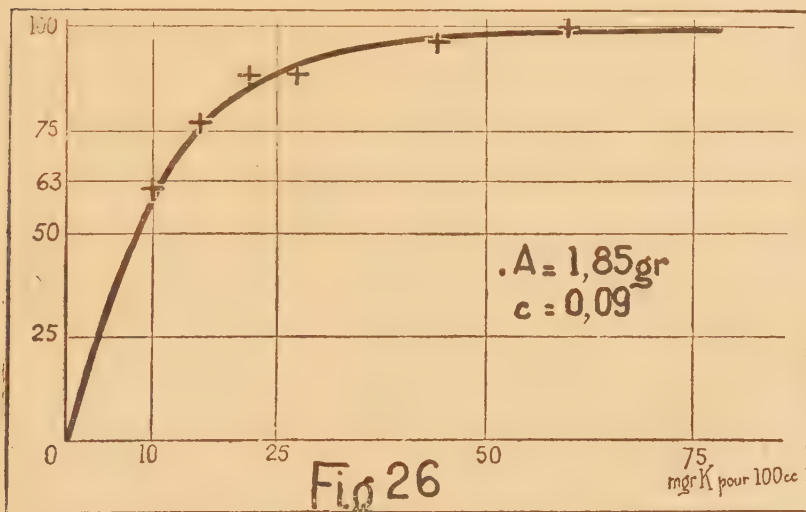
Expérience n° 1. (fig. 26).

$$A = 1,85$$

$$c = 0,09$$

$$x_c = 11,1$$

Le liquide nutritif contient 1,3 mgr. de Mg pour 100 cm³.



TENEUR EN POTASSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
10,1	1,126	60,9
15,8	1,420	76,7
21,4	1,640	88,7
27,2	1,650	89,2
44,1	1,813	98,0
60,0	1,854	100,2

La courbe théorique est la suivante :

x = TENEUR EN POTASSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
10,1	0,3955	1,6045	40,2	59,8	60,9	+ 2,0
15,8	0,6194	1,3806	24,0	76,0	76,7	+ 1
21,4	0,8389	1,1611	14,5	85,5	88,7	+ 3,8
27,2	1,0662	0,9338	8,6	91,4	89,2	- 2,5
44,1	1,7287	0,2713	1,9	98,1	98,0	- 0,1
60,0	2,3520	1,6480	0,4	99,6	100,2	+ 0,6

Expérience n° 2 (fig. 27)

$$A = 2,5$$

$$c = 0,11$$

$$x_c = 9,1$$

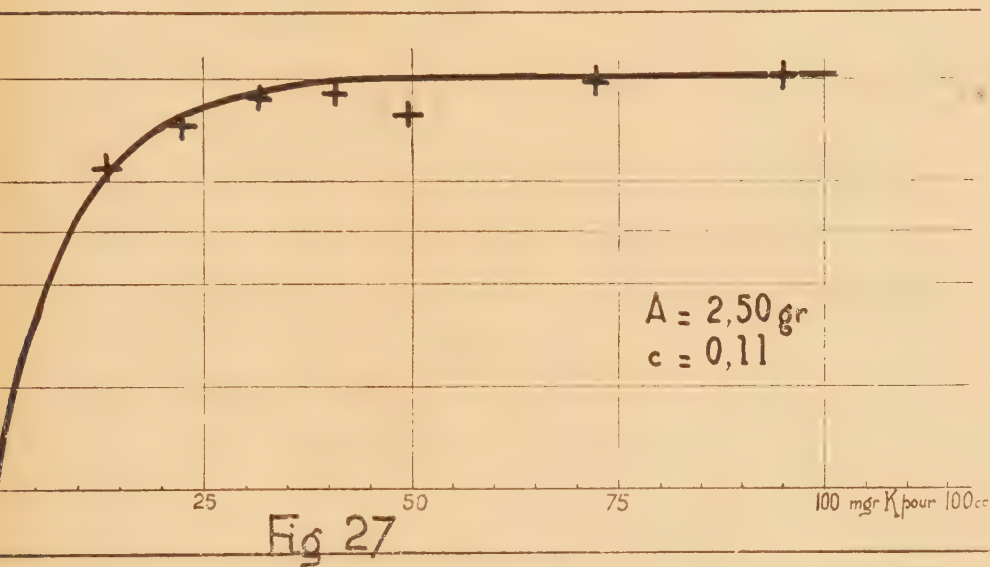
Le liquide nutritif contient 4 mgr. Mg pour 100 cm³.

On ajoute au liquide des quantités convenables de CO³ Na² anhydre pour compenser la disparition de CO³⁻ avec CO³ K².

TENEUR EN POTASSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
13,5	1,934	77,4
22,6	2,227	89,1
31,6	2,367	94,7
40,7	2,406	96,2
49,7	2,272	90,9
72,3	2,469	98,8
94,9	2,508	100,3

La courbe théorique est la suivante :

x = TENEUR EN POTASSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
13,5	0,6439	1,3561	22,7	77,3	77,4	+ 0,1
22,6	1,0780	0,9220	8,4	91,6	89,1	— 2,8
31,6	1,5073	0,4927	3,1	96,9	94,7	— 2,3
40,7	1,9414	0,0586	1,1	98,9	96,2	— 2,7
49,7	2,3717	1,6283	0,4	99,6	90,9	— 8,7
72,3	3,4587	2,5413	0,04	100	98,8	— 1,2
94,9	—	—	—	100	100,3	+ 0,3

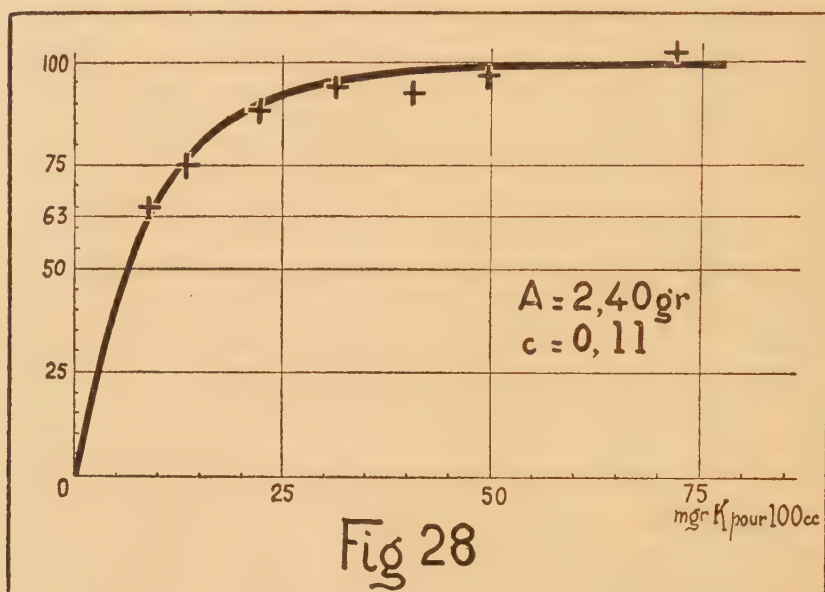


Expérience n° 3. (fig. 28).

$$\begin{aligned}
 A &= 2,4 \\
 c &= 0,11 \\
 x_c &= 9,1
 \end{aligned}$$

Le liquide nutritif contient 4 mgr. Mg pour 100 cm³.

TENEUR EN POTASSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC (EN GR.)	POIDS POUR A = 100
9	1,537	64,0
13,5	1,818	75,7
22,6	2,151	89,6
31,6	2,259	94,1
40,7	2,218	92,4
49,7	2,316	96,5
72,3	2,451	102,1



La courbe théorique est la suivante :

x = TENEUR EN POTASSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	A - P	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
9	0,4303	1,5697	37,1	62,9	64,0	+ 1,8
13,5	0,6439	1,3561	22,7	77,3	75,7	— 2,2
22,6	1,0780	0,9220	8,4	91,6	89,6	— 2,2
31,6	1,5073	0,4927	3,1	96,9	94,1	— 2,9
40,7	1,9414	0,0586	1,1	98,9	92,4	— 6,5
49,7	2,3717	1,6283	0,4	99,6	96,5	— 3,1
72,3	3,4587	2,5413	0,04	100	102,1	+ 2,1

D'après ces chiffres, on voit qu'il est possible de ramener la courbe de récolte de l'*Aspergillus niger* en fonction de la teneur en potassium du milieu, comme dans le cas du phosphore et du magnésium, à une courbe exponentielle de la forme :

$$P = A (1 - e^{-cx}).$$

Où P est le poids de la récolte en fonction de la teneur x en potassium, et c un coefficient, caractéristique du potassium.

Les valeurs trouvées pour ce coefficient sont les suivantes :

$$c = 0,09$$

$$c = 0,11 \quad \text{en moyenne } c = 0,1.$$

$$c = 0,11$$

La valeur moyenne de ce coefficient est donc assez différente de celles trouvées pour la magnésium (en moyenne $c = 2,6$) et pour le phosphore (en moyenne $c = 0,4$ lorsqu'il s'agit de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$, $c = 0,7$ lorsqu'il s'agit de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$, agissant dans un milieu non équilibré au point de vue du magnésium.)

CHAPITRE IV

Cultures sur milieux de composition pratiquement constante

1. — Nécessité d'opérer en milieu de composition constante.

Dans les expériences qui viennent d'être décrites, les cultures ont été effectuées sur une quantité de liquide relativement faible. La composition de ce liquide, à l'origine, est bien connue ; mais au cours de la croissance, les substances offertes sont plus ou moins métabolisées pour contribuer à la fabrication de la matière vivante.

Une partie de ces substances s'accumule sous forme de déchets, le reste étant utilisé par le mycélium. Le mycélium et le milieu sur lequel il vit, sont le siège d'échanges et de transformations incessantes : le poids du mycélium augmente pour décroître ensuite ; le milieu s'appauvrit en certains de ses constituants, glucose ou nitrate d'ammonium par exemple, et s'enrichit en d'autres produits, acides organiques (oxalique, citrique), acides aminés — ou produits plus complexes. L'observation en avait déjà été faite par *Baule* (29) et rappelée par *Söding* (30) qui considérait que les expériences faites sous cette forme n'étaient pas suffisantes pour contrôler la loi d'action. *La vie du mycélium aux dépens du liquide de culture entraîne une variation importante dans la composition du milieu. La teneur du milieu en chacun des éléments varie de façon continue pendant toute la durée de la végétation.*

A. — VARIATION DE LA TENEUR EN GLUCOSE.

1^o Voici par exemple, une expérience constituée de la façon habituelle : des ballons Pyrex de 250 cm³ contiennent 100 cm³ de liquide

de culture, et sont largement ensemencés avec des conidies d'*Aspergillus niger*. Les cultures sont portées à l'étuve à 34°, pour des durées variables. A des intervalles de temps déterminés, on arrête les cultures, on retire le mycélium et on dose le glucose restant dans le ballon.

Le tableau suivant résume la disparition progressive de l'aliment glucidique dans le milieu de culture, qui contenait à l'origine 70 gr. de glucose par litre ; on notera que, dès la 53^e heure, environ 50 % du sucre présent à l'origine est consommé (chaque ballon contient 7 gr. de sucre).

Temps de culture en heures	31 h. 1/4	46 h. 1/2	53 h. 1/2	71 h.	78 h.	94 h. 1/2	102 h.
Sucre utilisé en grammes	1,55	3,63	3,41	4,54	4,97	5,44	5,63
Poids du mycélium en grammes	0,20	1,14	1,35	1,86	1,99	2,10	2,11

2° Une autre expérience est constituée de façon analogue ; mais les cultures sont effectuées sur des milieux de teneurs en magnésium variées ; les mêmes dosages sont effectués à la fin de l'expérience. Le volume du liquide est 200 cm³.

A l'origine la teneur en sucre du milieu est de 10 gr. par ballon, soit 5 gr. pour 100 cm³. Suivant la teneur en magnésium du milieu, la consommation de sucre a été la suivante :

Temps de culture	45 h. 3/4	54 h.	70 h.
Dose de magnésium :	Sucre utilisé en grammes		
0,42 mgr. pour 100 cc ³ .	3,07	3,45	4,60
0,84 — —	3,93	5,27	6,12
2,10 — —	5,50	5,70	6,71

Par conséquent, pour un même temps de culture, la consommation du sucre est d'autant plus forte que la teneur en magnésium du milieu est plus élevée.

D'autre part, le poids de matière sèche récoltée augmente également lorsqu'on augmente la teneur en magnésium du milieu, ce que nous savions déjà.

Cette augmentation du poids sec est proportionnelle à l'augmentation de la consommation de sucre. Si l'on définit le rendement matériel par $R = \frac{\text{poids de matière sèche,}}{\text{poids de sucre consommé,}}$ le rendement est à peu près constant et égal ici à 0,39 environ.

3° Dans 2 autres expériences, des dosages de sucre effectués au bout de 72 heures de culture, sur des liquides à différentes teneurs en magnésium, ont donné les résultats suivants :

Expérience n° 3. — Teneur en sucre de chaque ballon : 10 gr. au départ, pour 200 cm³ de liquide.

DOSE DE MAGNÉSIUM EN MGR.	SUCRE UTILISÉ EN GR.	SUCRE RESTANT EN GR.	POIDS DE RÉCOLTE EN GR.	RENDEMENT
0,29	3,92	6,08	1,27	0,33
0,52	5,66	4,34	1,45	0,26
0,77	7,37	2,63	1,90	0,26
1,04	8,23	1,77	2,77	0,34
1,28	8,23	1,77	2,88	0,35
1,59	8,23	1,77	3,0	0,36
1,89	8,14	1,86	2,84	0,35
1,93	7,89	2,11	2,97	0,38
2,41	8,34	1,66	3,11	0,37

Cette expérience confirme l'expérience n° 2 en montrant que :

a) la consommation du sucre augmente lorsque la teneur en magnésium du milieu augmente,

b) le poids de la récolte augmente parallèlement.

(Ici le rendement $R = \frac{\text{poids de matière sèche}}{\text{poids du sucre consommé}}$ augmente très légèrement en moyenne lorsque la teneur en magnésium du milieu est augmentée, alors qu'il était pratiquement constant dans l'expérience précédente.)

Expérience n° 4. — Teneur en sucre de chaque récipient à l'origine 5 gr. (dans 100 cm³ de liquide).

DOSE DE MAGNÉSIUM EN MGR.	SUCRE UTILISÉ EN GR.	SUCRE RESTANT EN GR.	POIDS DE RÉCOLTE EN GR.	RENDEMENT
2,72	4,95	0,05	2,36	0,48
5,44	4,96	0,04	2,34	0,47
6,80	4,94	0,06	2,29	0,47
9,52	4,84	0,16	2,29	0,47
13,60	4,89	0,11	2,30	0,47
16,32	4,76	0,24	2,30	0,48

Dans cette expérience, les doses de magnésium offertes sont plus élevées que dans l'expérience précédente et supérieures à la dose optimale. (D'après l'expérience précédente, la dose optimale est voisine de 1 mgr. 6.)

1° Il s'ensuit que le poids de la récolte demeure constant lorsqu'on augmente la teneur en magnésium du milieu au-dessus de 2,72 mgr.

2° La consommation du sucre est la même dans tous les récipients.

Le rendement $R = \frac{\text{poids de matière sèche}}{\text{poids de sucre consommé}}$ est constant et égal à 0,47.

Il faut d'ailleurs noter que cette expérience n'a pas beaucoup de sens puisque partout le sucre est intégralement consommé.

On peut conclure de ces 3 expériences que pour un même temps de culture et lorsqu'on élève la teneur en magnésium du milieu :

1° Le poids de récolte augmente jusqu'à ce que la teneur en magnésium du milieu atteigne sa valeur optimale.

2° La consommation de l'aliment glucidique augmente proportionnellement à la masse de récolte jusqu'au même moment.

3° La valeur du rendement reste la même, et ne dépend pas de la teneur en magnésium du milieu.

Cette notion est à rapprocher avec la constance du coefficient d'action du magnésium dans des milieux de concentration différentes en sucre (cf. p. 000).

B. — VARIATION DE LA TENEUR EN MAGNÉSIUM.

La teneur en magnésium du milieu, diminue de façon importante au cours de la croissance du champignon. Une série de dosages a été effectuée durant les 100 premières heures de culture, lors d'une expérience constituée comme les expériences décrites ci-dessus. La teneur initiale en magnésium, pour chaque ballon, était de 11,5 mgr.

Voici les résultats obtenus :

Temps de culture heures	31 1/4	46 1/2	53 1/2	71	78	94 1/2	102
Magnésium fixé (mgr.)	0,11	0,71	0,90	1,16	1,20	1,32	1,40

Le rapport $\frac{\text{aliment consommé}}{\text{aliment offert}}$ est beaucoup plus faible lorsqu'il s'agit du magnésium que lorsqu'il s'agit du glucose, néanmoins, au bout de 102 heures de culture, il a déjà disparu une fraction importante du magnésium offert : $\frac{1,4}{11,5} = 12 \%$.

Il faut remarquer de plus, que dans cette expérience la teneur en magnésium du liquide de culture est très élevée, 11,5 mgr. pour 100 cm³. Des expériences qui seront décrites plus loin, il résulte que la concentration optimale est voisine de 1,5 mgr. pour 100 cm³. Aux environs de cette teneur, la proportion du magnésium fixé par rapport au magnésium offert, est sensiblement plus élevée : *la proportion de magnésium fixé est d'autant plus élevée que la teneur du milieu en magnésium est plus faible.*

Voici par exemple une expérience comportant 72 heures de culture à 34° montrant que lorsque la teneur initiale en magnésium est peu élevée la proportion de magnésium fixé est importante.

QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM OFFERTE EN MGR. (MGR. DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ DE LIQUIDE DE CULTURE)	MAGNÉSIUM FIXÉ	
	MGR.	%
0,29	0,13	45
0,52	0,45	86
0,77	0,67	87
1,04	0,86	82
1,28	1,17	91
1,59	1,40	88
1,89	1,37	72
1,93	1,77	91
2,41	2,13	88

On notera que pour des quantités de magnésium offertes comprises entre 0,52 mgr. et 2,41 mgr. la proportion de magnésium fixé apparaît remarquablement constante.

Lorsque la teneur initiale en magnésium augmente, le pourcentage de magnésium fixé diminue.

L'expérience suivante est effectuée de la même façon que les précédentes durant 72 heures.

QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM OFFERTE EN MGR.	MAGNÉSIUM FIXÉ	
	MGR	%
2,72	1,75	64
5,44	2,38	44
6,80	3,10	45
9,52	3,22	34
13,60	3,41	25
16,32	3,47	21

On voit que, après 72 heures de culture, et surtout pour les basses concentrations, la quantité de magnésium qui reste à la disposition du mycélium est très différente de ce qu'elle était à l'origine.

C. — VARIATION DE LA TENEUR EN PHOSPHORE (voir p. 17, fig. 6 et 7).

La teneur en phosphore du milieu diminue aussi de façon importante durant la croissance du champignon. Au cours de deux expériences constituées comme précédemment (p. 56), il a été effectué deux séries de dosages durant les 100 premières heures de culture.

Expérience n° 1.

La teneur en phosphore du milieu est de 16,2 mgr. par ballon et pour 100 cm³ de liquide.

Temps de culture en heures	31 1/4	46 1/2	53 1/2	71	78	94 1/2	102
Phosphore fixé (mgr.)	3,1	9,5	10,0	13,3	13,6	13,7	15,4

Expérience n° 2.

La teneur en phosphore du milieu est de 10,8 mgr. pour 100 cm³ de liquide.

Temps de culture en heures	21	31 1/2	47	54	88 1/2	95
Phosphore fixé (mgr.)	0,84	4,0	6,9	7,25	8,5	8,25

On peut constater qu'au bout d'une centaine d'heures de culture, la proportion de phosphore fixé représente, dans le 1^{er} cas 95 %, dans le 2^e cas 80 % de la quantité de phosphore offerte.

On peut conclure de ces expériences que, durant la croissance du mycélium, le sucre d'une part, le magnésium et le phosphore d'autre part, diminuent fortement dans le liquide de culture.

Tous les autres constituants du milieu, minéraux ou organiques sont absorbés ou métabolisés de façon analogue ; mais sans parallélisme nécessaire. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'au bout de 72 heures de culture la composition du milieu nutritif est *très différente* de ce qu'elle était à l'origine, *même en valeur relative*. Si on veut rapporter le poids de la récolte à la teneur initiale en un élément donné, la loi ne peut être que *très complexe*, puisque loin d'être fixe, cette teneur évolue de façon continue au cours du temps.

Pour étudier de façon précise l'action de la teneur en magnésium du milieu, sur le poids de la récolte, il est impossible d'effectuer les cultures dans des ballons. Le milieu est trop limité pour que les variations de ses constituants n'y soient pas extrêmement sensibles.

Ainsi apparaît la nécessité d'opérer avec des milieux de composition stable.

2. — Dispositif de culture.

En ce qui concerne les végétaux supérieurs plusieurs procédés ont été employés pour obtenir un milieu de culture pratiquement constant, en particulier celui qui consiste à renouveler de façon continue le liquide au contact de la plante, par exemple au moyen de « solutions coulantes ».

Pour les végétaux inférieurs *Lavollay* et *Mme Laborey* (2) utilisent un autre procédé qui consiste à offrir au mycélium un volume important de liquide nutritif, et à limiter son développement en ne lui offrant qu'une faible surface.

Le mycélium en effet ne peut se développer indéfiniment en épaisseur, et le poids de la récolte est, toutes choses égales, proportionnel à la surfaceensemencée.

Voici, par exemple, les résultats d'une expérience où les mycéliums recueillis avaient été cultivés sur des surfaces différentes, délimitées par des manchons de verre (durée de l'expérience : 48 heures):

SURFACE DÉLIMITÉE PAR LE MANCHON EN CM ²	POIDS DU MYCÉLIUM EN GRAMMES (SEC)	POIDS DU MYCÉLIUM POUR 100 CM ² DE SURFACE
69,4	1,841	2,65
34,7	0,871	2,51
17,0	0,437	2,57
17,0	0,450	2,65
17,3	0,447	2,61

Par l'adoption d'une faible surface de culture, sur un grand volume de liquide nutritif, on crée une grande disproportion entre la quantité d'aliment offert, proportionnelle au volume, et la quantité d'aliment consommé, proportionnelle à la surface. De ce fait, la variation de la composition du milieu peut être réduite à de faibles proportions, et le milieu maintenu pratiquement constant.

Le dispositif que nous avons adopté, entièrement en verre, consiste en un cristalliseur cylindrique de 2 à 3 litres, renfermant le liquide nutritif. Sur un trépied, placé dans ce cristalliseur, repose un cylindre, ouvert à ses deux extrémités, dont la base est à 3 ou 4 mm. au-dessous de la surface du liquide et qui limite une surface circulaire bien définie. Les conidies sont largement répandues à la surface du liquide, à l'intérieur du cylindre, de façon à obtenir dès le début un voile mycélien sans déchirure ; on verse sur la couronne superficielle extérieure au cylindre, une couche d'huile de vaseline de 4 mm. destinée à empêcher tout développement du champignon en dehors de la surface limitée par ce cylindre.

Les cristalliseurs reposent dans un grand bac en zinc renfermant de l'eau, afin d'avoir une température uniforme, et l'ensemble est placé à l'étuve à 34°.

La constance de température assure la constance de degré hygrométrique.

A. — CALCUL DES DIMENSIONS A DONNER AU DISPOSITIF.

Le calcul montre, et l'expérience vérifie, que l'on peut fixer

d'avance une limite, aussi petite que l'on désire, au pourcentage de variation des concentrations du glucose et des autres constituants, par exemple du magnésium, en choisissant une surface suffisamment petite par rapport au volume.

Des expériences préliminaires nous ont appris que la masse de récolte qu'on peut obtenir sur une surface donnée au bout de 62 heures est de l'ordre de 5 gr. de matière sèche pour 100 cm².

a) *Constance du glucose* : Or, dans ces conditions, le rendement pondéral est sensiblement égal à 50 % du glucose consommé; la récolte correspond donc à une consommation sensiblement égale à 10 gr. de sucre pour 100 cm². Si l'on tolère une variation de la teneur en glucose de 10 % on voit donc que l'on peut choisir une surface de 100 cm² pour un volume de liquide nutritif de 2 litres contenant 100 gr. de glucose. Si l'on n'admet qu'une variation de 6 % de la teneur en sucre pendant la végétation, on choisira un cylindre de 60 cm² de surface correspondant à un poids de récolte optimum de 3 gr. à l'état sec — soit à une consommation de 6 gr. de glucose sur les 100 gr. présents dans les 2 litres de solution.

b) *Constance du magnésium* : Les expériences préliminaires décrites plus haut (pp. 60 et 61) nous ont appris que la quantité de magnésium exportée par la récolte dépend de la teneur du liquide en cet élément. C'est ainsi que pour une teneur de 0,52 mgr. pour 100 cm³, la quantité exportée est de 0,45 mgr. pour 1,45 gr. de récolte ;

que la quantité de magnésium exportée par 2,36 gr. de récolte sur un milieu contenant 2,72 mgr. pour 100 cm³, est de 1,75 mgr. Dans ces dernières conditions qui, comme nous le verrons, représentent une limite supérieure jamais atteinte, la variation de la teneur en magnésium de nos 2 litres de liquide serait, pour une surface de 60 cm², soit 3 gr. de poids sec de mycélium, de $\frac{1,75 \times 100 \times 3}{2,72 \times 2000 \times 2,36} = 4,1 \%$.

c) *Constance du phosphore* : La quantité de phosphore exportée est, pour 88 $\frac{1}{2}$ heures de culture, de 8,5 mgr., pour 1,90 gr. de mycélium (voir p. 62). Soit pour 3 gr. : $\frac{8,5 \times 3}{1,90} = 13,4$ mgr. qui représentent 6,2 % de la quantité de phosphore contenue dans 2 litres de liquide.

Nous avons effectivement toléré une variation possible de 6 % dans la composition des liquides en expérience — ce qui revient à tolérer une erreur de 6 % et détermine l'adoption d'une surface de section des cylindres de 60 cm². En fait ceux que nous utilisons présentent une surface de 66 à 70 cm². Les poids de récolte correspondants sont rapportés par le calcul à 100 cm².

B. — MARCHE DES EXPÉRIENCES.

Chacune des expériences comprend 8 cristallisoirs, contenant le milieu de culture à des concentrations différentes en magnésium. Les cylindres sont mis en place sur leurs trépieds — on répand abondamment les conidies, en surface, à l'intérieur de ces cylindres. On porte les cristallisoirs à l'étuve où ils sont partiellement immergés dans le bac commun.

On verse l'huile de vaseline à la périphérie des cristallisoirs. On arrête les cultures au bout de 48 à 62 heures.

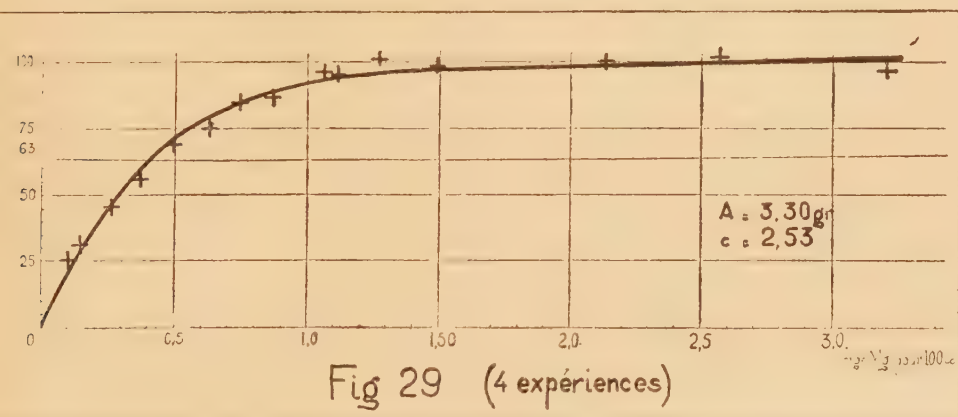
Il y a intérêt à ne pas trop prolonger la culture, car un développement trop considérable en épaisseur peut amener la formation de digitations à la face intérieure du mycélium et par conséquent des irrégularités dans la masse de récolte.

Les récoltes sont pressées, rincées et séchées, jusqu'à poids constant, à l'étuve à 55°, puis à l'étuve à 105° et enfin pesées.

Le poids est rapporté à 100 cm².

3. — Résultats expérimentaux (Voir fig. 29)

Quatre expériences ont été effectuées. Les valeurs obtenues pour le maximum étant égales entre elles ($A = 3,30$), les chiffres des quatre expériences ont pu être placés sur la même courbe.



Voici les chiffres obtenus :

QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MG.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ² EN GR.	MOYENNE	POIDS POUR A = 100
0,10	67,9	0,53	0,80		
0,10	66,4	0,59	0,88	0,84	25,5
0,15	66,4	0,72	1,08		
0,15	67,9	0,65	0,96	1,02	30,9
0,25	65,7	1,06	1,61		
0,25	66,4	0,89	1,34	1,48	44,9
0,25	67,2	1,01	1,50		
0,375	67,9	1,22	1,80	1,80	54,5
0,50	64,3	1,46	2,27	2,27	68,7
0,625	67,2	1,67	2,48	2,48	75,1
0,75	66,4	1,87	2,82		
0,75	67,2	1,78	2,65	2,80	84,8
0,75	65,7	1,92	2,92		
0,875	66,4	1,96	2,95		
0,875	66,4	1,81	2,72	2,84	86,7
1,07	66,4	2,08	3,12		
1,07	65,0	2,07	3,19	3,16	95,8
1,12	70,9	2,24	3,15	3,15	95,5
1,28	67,9	2,19	3,22		
1,28	62,9	2,16	3,43	3,33	100,9
1,50	65,0	2,00	3,09		
1,50	62,9	2,12	3,38	3,24	98,2
2,14	66,4	2,18	3,30	3,30	100
2,57	67,0	2,25	3,36	3,36	101,8
3,21	62,9	2,00	3,19	3,10	96,7

Calcul de la courbe théorique avec $c = 2,53$ (fig. 29).

$x =$ TENEUR EN MAGNÉSIUM DE 100 CM ³ EN MGR.	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,10	0,11	1,890	77,6	22,4	25,5	+ 14
0,15	0,165	1,835	68,4	31,6	30,9	— 2,2
0,25	0,275	1,725	53,1	46,9	44,9	— 4,3
0,375	0,4125	1,5875	38,7	61,3	54,5	— 6,3
0,50	0,55	1,45	28,2	71,8	68,7	— 4,2

x = TENEUR EN MAGNÉSIUM DE 100 CM ³ EN MGR.	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,625	0,6875	1,3125	20,5	79,5	75,1	— 5,5
0,75	0,825	1,175	15,0	85,0	84,8	— 0,3
0,875	0,9625	1,0375	10,9	89,1	86,7	— 2,7
1,07	1,177	0,823	6,6	93,4	95,8	+ 2,7
1,12	1,232	0,768	5,9	94,1	95,5	+ 1,6
1,28	1,408	0,592	3,9	96,1	100,9	+ 5,1
1,50	1,65	0,35	2,2	97,8	98,2	+ 0,5
2,14	2,354	1,646	1,2	98,8	100	+ 0,2
2,57	2,827	1,173	0,5	99,5	101,8	+ 2,3
3,21	3,531	2,469	0,1	99,9	96,7	— 3,3

L'erreur moyenne pour cette série d'expériences est de 3,6 %.

Nécessité d'agiter. — Une cause d'erreur a pu intervenir pour fausser cette série d'expériences : après récolte du mycélium un simple mouvement d'agitation imprimé au liquide de culture permet de se rendre compte, même à l'œil, que les diverses parties du liquide ont des teneurs en sucre très différentes; l'agitation provoque la formation de stries très visibles.

Les régions du liquide immédiatement voisines du mycélium ont été épuisées, les parties profondes ou éloignées ont conservé leur composition initiale.

Il faut donc imaginer un dispositif permettant l'agitation profonde du liquide de culture pendant la croissance du mycélium.

Pour cela, une hélice de verre plonge dans chaque cristalliseur — mue par un dispositif mécanique qui en assure la rotation régulière. Il est ainsi possible de brasser énergiquement le liquide de culture dès que le voile mycélien a acquis une résistance suffisante, c'est-à-dire en général entre la 24^e et la 36^e heure.

Avant 24 heures de culture, les emprunts faits au liquide par le mycélium sont très faibles¹.

Voici les chiffres d'une série de 9 expériences, réalisées avec ce nouveau dispositif. La surface des manchons a été réduite à 40 cm² environ.

1. L'agitation ne se fait pas toujours de façon identique dans tous les cristalliseurs. Ce fait, que nous n'avons pu éviter, entraîne les écarts entre le poids réel et le poids calculé de chaque mycélium, un peu plus importants dans les expériences qui vont suivre que dans les expériences précédentes effectuées sans agitation.

Expérience n° 1. $A = 3,85$ $c = 2,79$ (fig. 30).

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,107	38,5	0,39	1,02	26,5
0,214	36,3	0,60	1,65	43,0
0,43	36,3	1,00	2,76	71,7
0,64	36,3	1,18	3,24	84,1
0,85	38,5	1,33	3,45	89,7
1,07	38,5	1,40	3,64	94,5
1,50	37,4	1,46	3,90	101,3
2,14	38,5	1,31	3,41	88,6

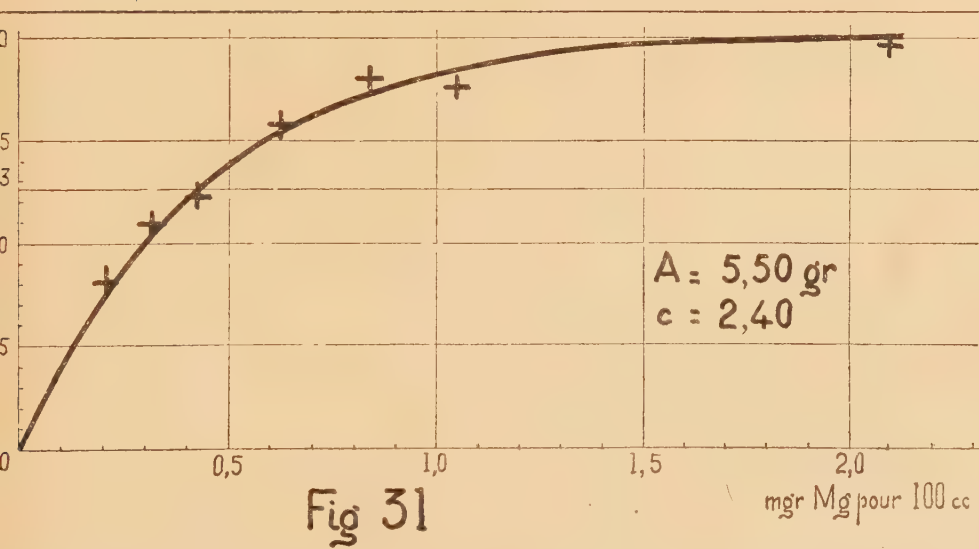
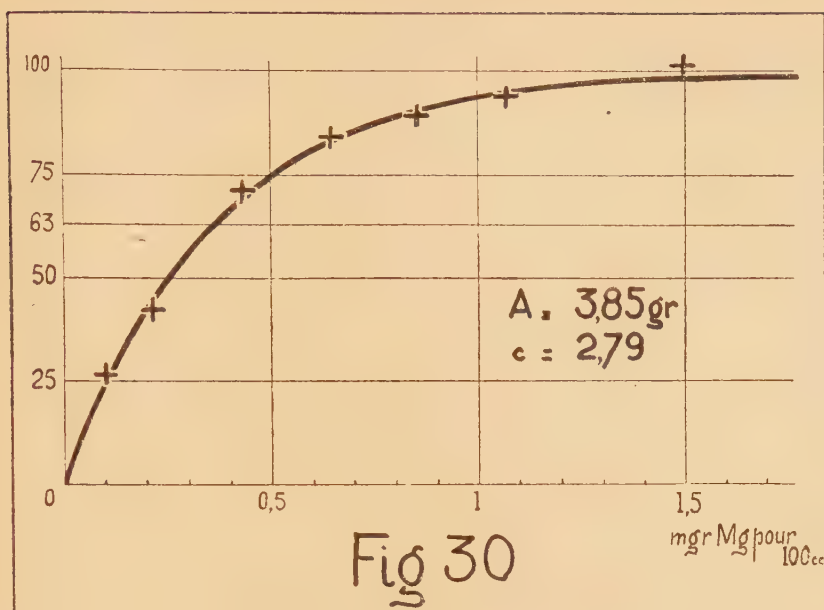
Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ = $\log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,107	0,1296	1,8704	74,4	25,6	26,5	+ 3,5
0,214	0,2592	1,7408	55,1	44,9	43,0	— 4,2
0,43	0,5184	1,4816	30,3	69,7	71,7	+ 2,9
0,64	0,7776	1,2224	16,7	83,3	84,1	+ 1,0
0,85	1,0368	0,9632	9,2	90,8	89,7	— 1,2
1,07	1,2956	0,7044	5,1	94,9	94,5	— 0,5
1,50	1,9144	0,0856	1,5	98,5	101,3	+ 1,8
2,14	2,5912	1,4088	0,2	99,8	88,6	— 11,4

Erreur moyenne : 3,3 %

Expérience n° 2 (fig. 31) $A = 5,50$ $c = 2,40$.

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,21	38,3	0,86	2,24	40,8
0,315	36,6	1,10	3,02	54,9
0,42	37,0	1,27	3,42	62,2
0,63	37,0	1,60	4,32	78,6
0,84	39,4	2,01	5,09	90,2
1,05	38,8	1,89	4,85	88,2
2,10	37,4	2,03	5,44	98,9



Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$\frac{2 - cx \log e}{= \log (A - P)}$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,21	0,2187	1,7813	60,4	39,6	40,8	+ 2,9
0,315	0,3281	1,6719	46,9	53,1	54,9	+ 3,4
0,42	0,4374	1,5626	36,6	63,4	62,2	— 1,9
0,63	0,6562	1,3438	22,0	78,0	78,6	+ 0,8
0,84	0,8748	1,1252	13,3	86,7	90,2	+ 4,1
1,05	1,0937	0,9063	8,0	92,0	88,2	— 4,2
2,10	2,1873	1,8127	0,6	99,4	98,9	— 0,5

Erreur moyenne : 2,5 %

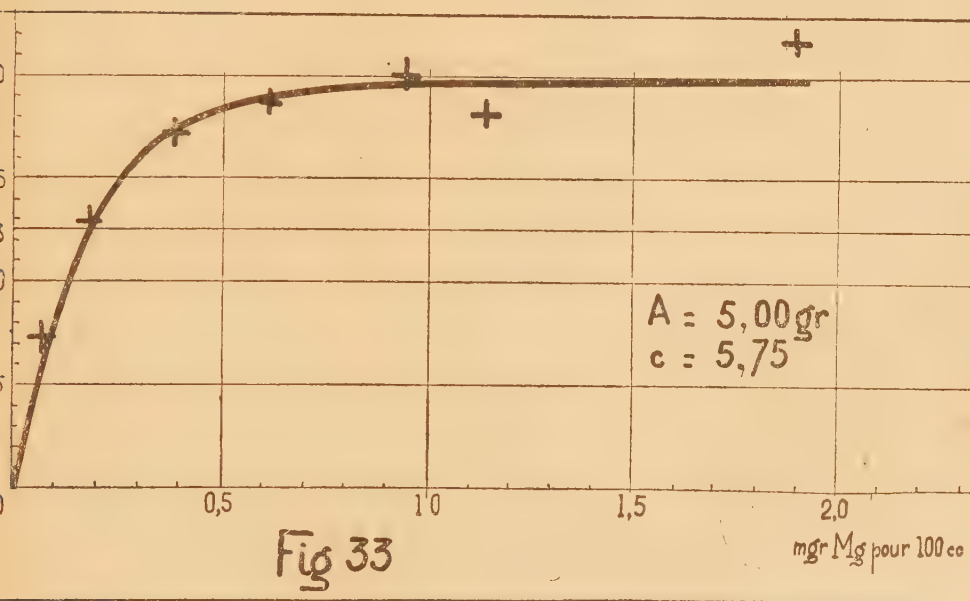
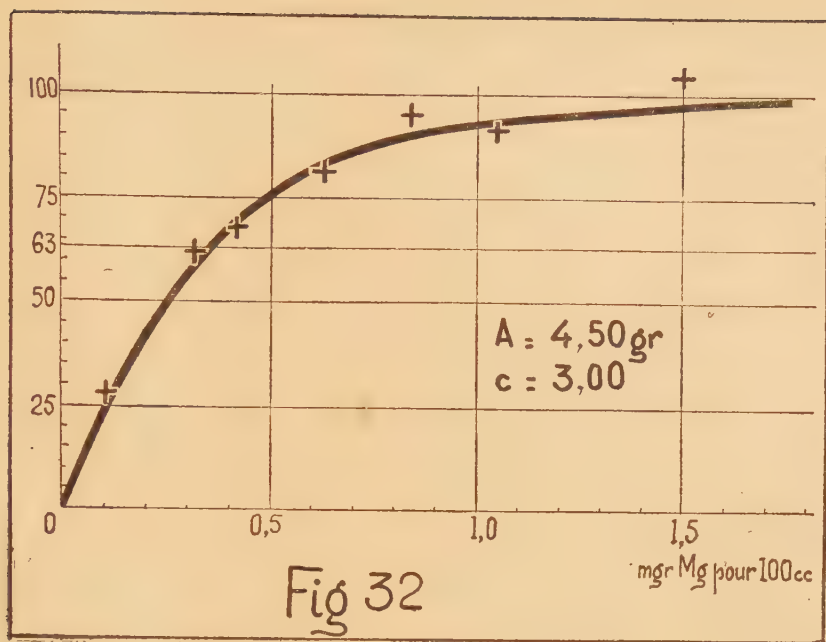
Expérience n° 3 (fig. 32) A = 4,50 c = 3,00

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,105	38,3	0,49	1,27	28,3
0,315	36,6	1,03	2,82	62,8
0,42	37,0	1,14	3,08	68,4
0,63	37,0	1,37	3,69	82,0
0,84	39,4	1,70	4,31	95,8
1,05	38,8	1,61	4,14	91,9
1,47	37,1	1,75	4,72	105

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$\frac{2 - cx \log e}{= \log (A - P)}$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,105	0,1367	1,8633	73,0	27,0	28,3	+ 4,3
0,315	0,4091	1,5902	39,0	61,0	62,8	+ 2,7
0,42	0,5468	1,4532	28,7	71,3	68,4	— 4,2
0,63	0,8182	1,1818	15,2	84,8	82,0	— 3,3
0,84	1,0936	0,9064	8,1	91,9	95,0	+ 4,4
1,05	1,3671	0,6329	4,3	95,7	91,9	— 4,4
1,47	1,9139	0,0861	0,8	99,2	105	+ 5,8

Erreur moyenne : 4,1 %



Expérience n° 4 (fig. 33) $A = 5,00$ $c = 5,75$

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,075	37,05	0,69	1,85	37,0
0,19	36,6	1,21	3,25	65,0
0,38	37,0	1,61	4,32	86,4
0,56	37,0	1,78	4,73	94,6
0,95	39,4	1,97	5,00	100
1,14	38,9	1,76	4,55	91
1,90	37,1	1,94	5,23	108,8
1,90	38,3	2,17	5,66	

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,075	0,1868	1,8132	65,0	35,0	37,0	+ 5,7
0,19	0,4733	1,5267	33,6	66,4	65,0	— 0,9
0,38	0,9466	1,0534	11,2	88,8	86,4	— 2,7
0,56	1,4199	0,5801	3,8	96,2	94,6	— 1,6
0,95	2,3665	1,6335	0,5	99,5	100,0	+ 0,5
1,14	2,8397	1,1603	0,15	99,85	91,0	— 9,0
1,90	4,733	3,267	0,00	100	108,8	+ 8,8

Erreur moyenne : 4,2 %

Expérience n° 5 (fig. 34) $A = 6,0$ $c = 3,92$

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,075	37,0	0,74	1,99	33,1
0,19	36,6	1,15	3,14	52,3
0,38	37,0	1,64	4,43	73,8
0,56	37,0	1,89	5,09	85,0
0,95	39,4	2,22	5,64	94,0
1,14	38,9	2,37	6,11	101,8
1,90	37,1	2,35	6,33	111

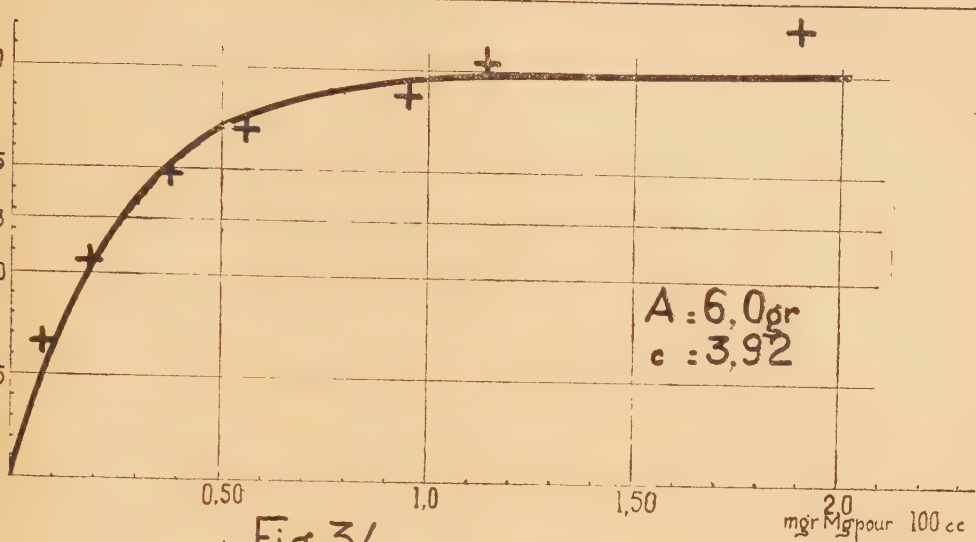


Fig 34

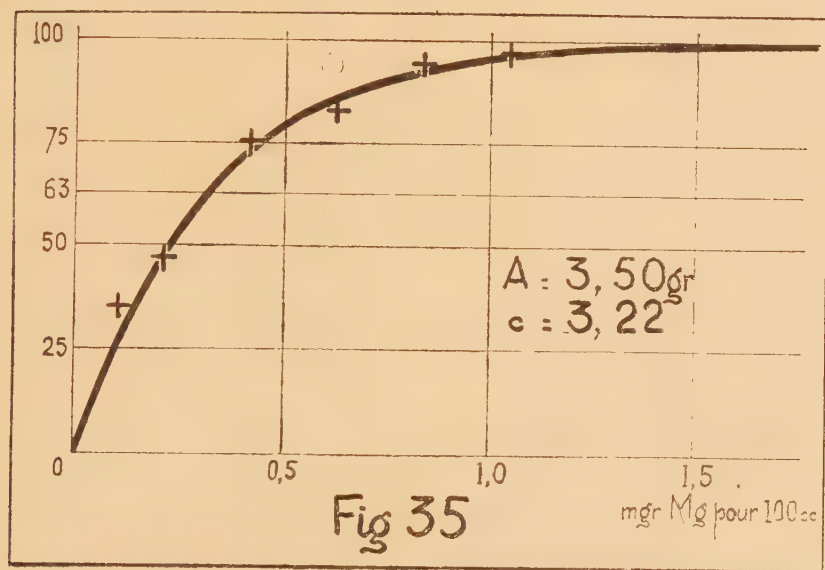


Fig 35

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,075	0,1276	1,8724	74,5	25,5	33,1	+ 28
0,19	0,3232	1,6768	47,5	52,5	52,3	— 0,4
0,38	0,6464	1,3536	22,6	77,4	73,8	— 4,7
0,56	0,9696	1,0304	11,2	88,8	85,0	— 4,5
0,95	1,6160	0,3840	2,4	97,6	94,0	— 3,9
1,14	1,9395	0,0605	1,5	98,5	101,8	+ 3,3
1,90	3,2322	2,7678	0,01	100	111	+ 11
Erreur moyenne : 8 %						

Ces 5 premières expériences correspondent aux récoltes effectuées au bout de 62 heures à 34°.

Expérience n° 6 (fig. 35) A = 3,50 c = 3,22

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,105	37,1	0,46	1,23	35,1
0,21	39,4	0,64	1,63	46,6
0,42	37,0	0,92	2,52	74,9
0,63	37,0	1,07	2,91	83,1
0,84	36,6	1,20	3,30	94,3
1,05	38,3	1,30	3,40	97,1

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,105	0,1467	1,8533	71,3	28,7	35,1	+ 22
0,21	0,2934	1,7066	50,8	49,2	46,6	— 5,5
0,42	0,5868	1,4132	25,8	74,2	74,9	— 1,1
0,63	0,8802	1,1198	13,1	86,9	83,1	— 4,5
0,84	1,1736	0,8264	6,7	93,3	94,3	+ 1,1
1,05	1,4675	0,5325	3,4	96,6	97,1	+ 0,5
Erreur moyenne : 5,5 %						

Expérience n° 7 (fig. 36) $A = 4,50$ $c = 4,60$

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,075	37,0	0,56	1,52	33,8
0,19	36,6	0,96	2,62	59,3
0,38	37,0	1,26	3,42	76,2
0,56	37,0	1,31	3,53	78,4
0,95	39,4	1,77	4,49	99,7
1,14	38,9	1,67	4,30	96,2
1,90	37,1	1,71	4,60	100
1,90	38,4	1,67	4,37	

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$\frac{2 - cx \log e}{\log (A - P)}$	A — P	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,075	0,1497	1,8503	70,8	29,2	33,8	+ 15
0,19	0,3893	1,6107	40,8	59,2	59,3	+ 0,2
0,38	0,7784	1,2216	16,7	83,3	76,2	— 8,5
0,56	1,1679	0,8321	6,8	93,2	78,4	— 16
0,95	1,9465	0,0536	1,1	98,9	99,7	+ 0,8
1,14	2,2759	1,7241	0,5	99,5	96,2	— 3,5
1,90	3,8932	2,1068	0,001	99,99	100	0

Erreur moyenne : 6,3 %

Expérience n° 8 (fig. 37) $A = 2,90$ $c = 3,70$

x = QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,105	38,3	0,39	1,01	34,8
0,21	36,6	0,60	1,64	56,5
0,42	37,0	0,84	2,26	77,9
0,63	37,0	1,00	2,72	93,4
0,84	39,4	1,06	2,70	93,0
1,05	38,9	1,08	2,77	95,9
1,47	37,1	1,20	3,24	111,8

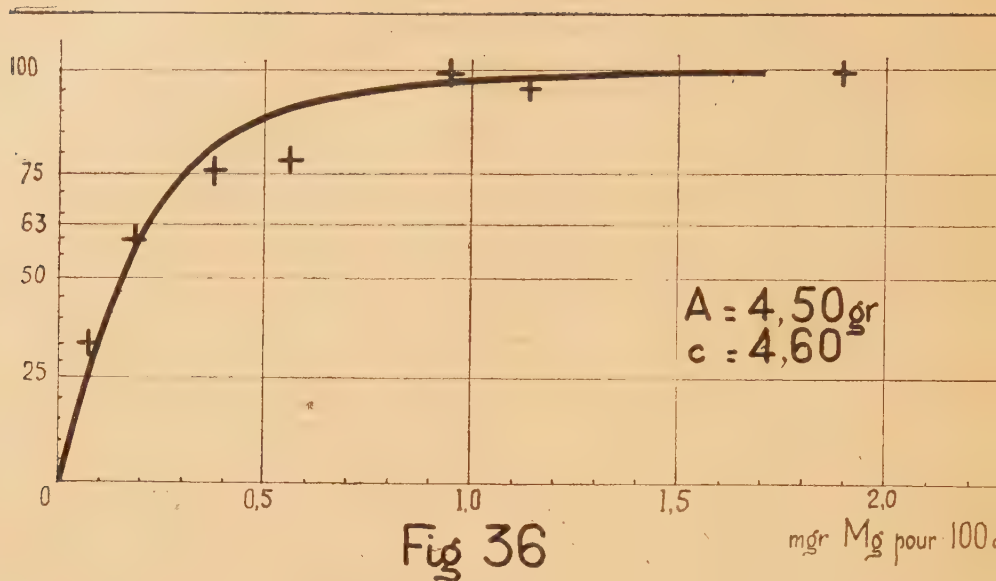


Fig 36

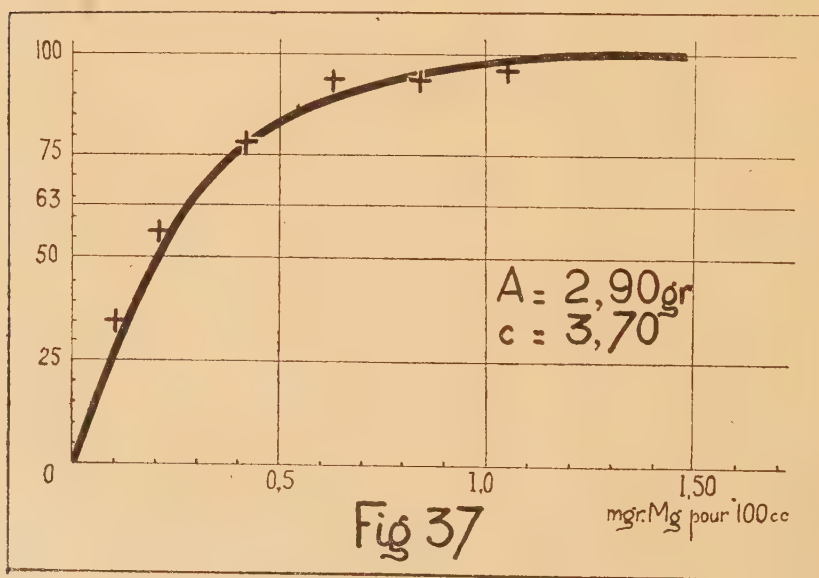


Fig 37

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,105	0,1686	1,8314	67,9	32,1	34,8	+ 7,7
0,21	0,3372	1,6628	46,1	53,9	56,5	+ 4,8
0,42	0,6744	1,3256	21,3	78,7	77,9	— 1,0
0,63	1,0016	0,9984	9,8	90,2	93,4	+ 3,7
0,84	1,3488	0,6519	4,5	95,5	93,0	— 2,6
1,05	1,6861	0,3139	2,1	97,9	95,9	— 2,0
1,47	2,3594	1,6406	0,4	99,6	111,8	+ 12,2

Erreur moyenne : 4,8 %

Expérience n° 9 (fig. 38) A = 4,50 c = 3,50

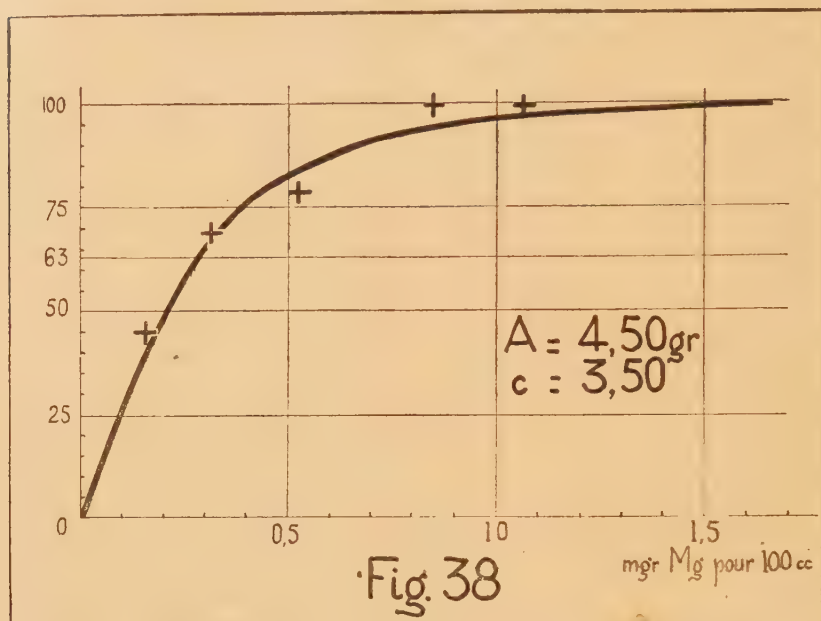
$x =$ QUANTITÉ DE MAGNÉSIUM DANS 100 CM ³ (EN MGR.)	SURFACE EN CM ²	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR 100 CM ²	POIDS POUR A = 100
0,157	36,6	0,74	2,02	44,9
0,315	37,0	1,16	3,13	69,5
0,525	37,0	1,32	3,54	78,7
0,85	39,4	1,76	4,47	99,3
1,07	38,9	1,73	4,45	98,9
1,50	37,0	1,67	4,53	100,7
2,14	35,2	1,55	4,42	98,2

Calcul de la courbe théorique.

x	$cx \log e$	$2 - cx \log e$ $= \log (A - P)$	$A - P$	POIDS CAL- CULÉ	POIDS RÉEL	ERREUR %
0,157	0,2385	1,7615	57,9	42,1	44,9	+ 6,6
0,315	0,5770	1,4230	32,2	67,8	69,5	+ 2,5
0,525	0,7975	1,2025	15,9	84,1	78,7	— 6,4
0,85	1,2911	0,7089	5,1	94,9	99,3	+ 4,7
1,07	1,6253	0,3747	2,4	97,6	98,9	+ 1,3
1,50	2,2785	1,7215	0,5	99,5	100,7	+ 0,8
2,14	3,2506	2,7494	0,05	99,95	98,2	— 1,8

Erreur moyenne : 3,4 %

Les 4 dernières expériences correspondent à des récoltes obtenues en 48 heures à 34°.



4. — Conséquences de la loi d'action du magnésium.

A. — RÔLE DE LA CONCENTRATION DU MILIEU EN MAGNÉSIUM

La loi de Mitscherlich exprime la variation du poids de la récolte en fonction de la quantité d'engrais ajouté.

Au contraire, comme *Baule* (29) nous considérons dans nos expériences que l' x de la formule $P = A (1 - e^{-cx})$ représente une concentration. (Ici la quantité de magnésium présente dans 100 cm³ de liquide de culture.)

Ces expériences de culture sur milieu constant permettent de montrer que le poids de la récolte dépend de la *concentration* en magnésium du milieu, et non de la teneur globale en magnésium.

En effet, nous pouvons constater que la quantité de matière vivante édifiée en un temps donné représente un pourcentage bien déterminé du maximum, et que ce pourcentage ne dépend que de la concentration en magnésium, suivant la loi $P = 100 (1 - e^{-cx})$, sur un milieu de composition pratiquement constante. Le développement est donc indépendant de la quantité présente. D'après les

chiffres des expériences effectuées en ballons, la quantité de magnésium offerte au champignon, dans les cristallisoirs, suffirait à fabriquer une masse de matière vivante beaucoup plus élevée que la masse obtenue réellement. Ce n'est donc pas l'épuisement du milieu en magnésium qui limite la croissance du champignon. *Pour une même expérience, le poids de récolte obtenu sur chaque milieu ne dépend que de la concentration en magnésium de ce milieu.*

B. — DÉTERMINATION DU MAXIMUM.

Il est impossible de fixer une valeur de x permettant d'obtenir l'optimum de récolte. La forme de l'équation de la courbe ne permet pas même de prévoir un optimum, puisque celle-ci tend asymptotiquement vers une valeur maximum.

On peut seulement admettre que, pour une concentration comprise entre 1 et 2 mgr. de magnésium pour 100 cm³, la valeur du maximum est pratiquement obtenue, aux erreurs expérimentales près.

C. — IMPORTANCE DU COEFFICIENT c .

Dans la formule $dP = c dx (A - P)$ si nous posons $A = 100$, nous avons

$$dP = c dx (100 - P).$$

Pour chaque valeur de x , la valeur de P est entièrement fixée par le coefficient c . La courbe des récoltes est *entièrement déterminée par la valeur de ce coefficient*, qui permet de connaître le poids de récolte obtenu pour une valeur quelconque de la concentration en magnésium.

D. — DÉTERMINATION GRAPHIQUE DU COEFFICIENT c .

Si l'on choisit pour la concentration x , une valeur telle que $x = \frac{1}{c}$ la formule se transforme de la façon suivante :

$$P = A (1 - e^{-1}).$$

e^{-1} étant égal à 0,37 l'équation prend la valeur

$$P = A (1 - 0,37)$$

$$P = A \times 0,63$$

Il est facile de déterminer graphiquement la concentration x qui permet d'obtenir $P = 0,63 A$ et, si A est arbitrairement fixé à 100, de trouver la concentration qui permet d'obtenir une récolte égale à 63 % de l'optimum.

Il est donc possible de déterminer facilement la valeur du coefficient c qui est l'inverse de cette concentration.

Le calcul de chaque courbe expérimentale a été fait à partir d'une valeur du coefficient c obtenu de cette façon (voir page 38).

On peut d'ailleurs aussi bien caractériser la courbe de croissance par son coefficient c que par l'inverse de celui-ci $x_c = \frac{1}{c}$ c'est-à-dire par la concentration permettant d'obtenir 63 % de la récolte maximum. Tandis qu'il est impossible de déterminer sur la courbe une concentration correspondant à l'optimum, on peut caractériser la courbe de récolte par une concentration arbitrairement choisie, par exemple, la concentration permettant d'obtenir 63 % du maximum.

E. — VARIATION DU COEFFICIENT c .

Le coefficient c qui détermine entièrement la courbe du développement, a-t-il la valeur d'une constante, au sens mathématique du mot?

Pour le savoir il faudrait être certain de réaliser des conditions absolument identiques, conduisant à des courbes rigoureusement superposables.

Or, nous le savons déjà, la valeur de A oscille d'une expérience à l'autre dans des limites assez grandes. Nous ne sommes pas parvenus à nous rendre maîtres des potentialités des conidies. De là vient sans doute aussi que les valeurs trouvées pour le coefficient c oscillent d'une expérience à l'autre.

Nous lui avons trouvé pour valeurs en milieu stable :

pour un temps de culture de 62 heures : 2,79 — 2,40, — 3,00 — 5,75, 3,92 ;

pour un temps de culture de 48 heures : 3,22 — 4,60, — 3,70 — 3,50.

Nous avons vu plus haut que le coefficient d'action du potassium a une valeur d'environ 0,1 ; que celui du phosphore a une valeur d'environ 0,4 lorsqu'il s'agit de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$, de 0,7 lorsqu'il s'agit de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$.

On peut donc admettre que les variations du coefficient c , d'un élément donné, sont peu importantes, comparées aux écarts entre les coefficients d'action d'éléments différents.

La valeur moyenne des coefficients peut servir à caractériser l'action de chaque élément sur le développement de l'*Aspergillus*.

Nous verrons plus loin (voir p. 93) que Mitscherlich attribuait au coefficient c une valeur fixe, caractéristique de l'action d'un élément déterminé et indépendante à la fois de l'espèce cultivée, du milieu et des agents extérieurs (qui serait égal à 2,0 pour le magnésium dans le cas de cultures de plantes supérieures). Cette fixité a été très dis-

cutée par différents auteurs — et nos propres résultats sont en contradiction absolue avec cette notion, puisque même au cours de plusieurs expériences réalisées de façon identique, nous avons dû constater que la valeur du coefficient a légèrement varié.

Remarque. — D'après les chiffres de 3 expériences lorsqu'on fait varier la durée des expériences de 35 heures à 70 heures, la valeur du coefficient c reste la même. Elle ne dépend donc pas du temps de culture.

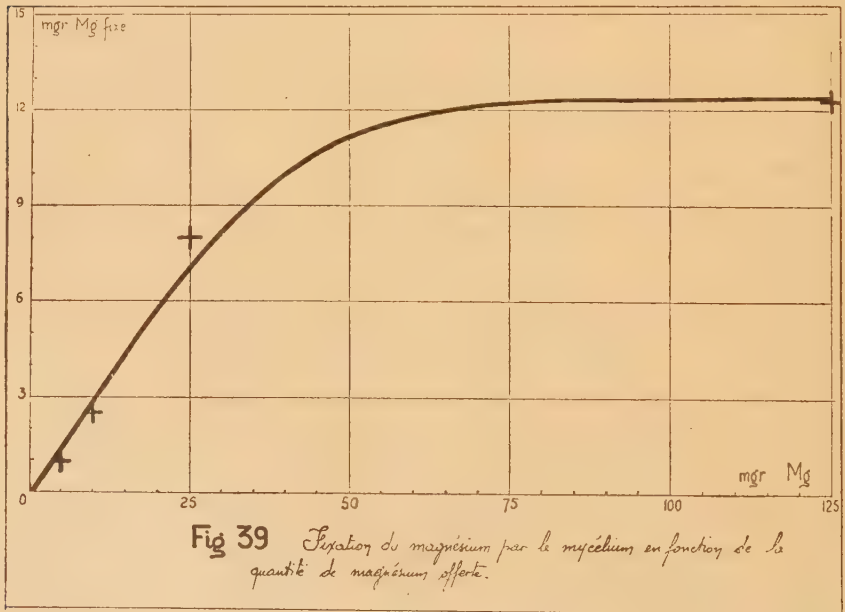
Cette indépendance justifie, à postériori, notre technique de détermination de la loi de récolte obtenue en un temps de culture arbitrairement choisi.

CHAPITRE V

Fixation du magnésium par le mycélium

Nous avons vu, au début du chapitre précédent que, suivant la teneur initiale du milieu en magnésium, la quantité de cet élément exportée par le mycélium variait dans d'assez larges limites.

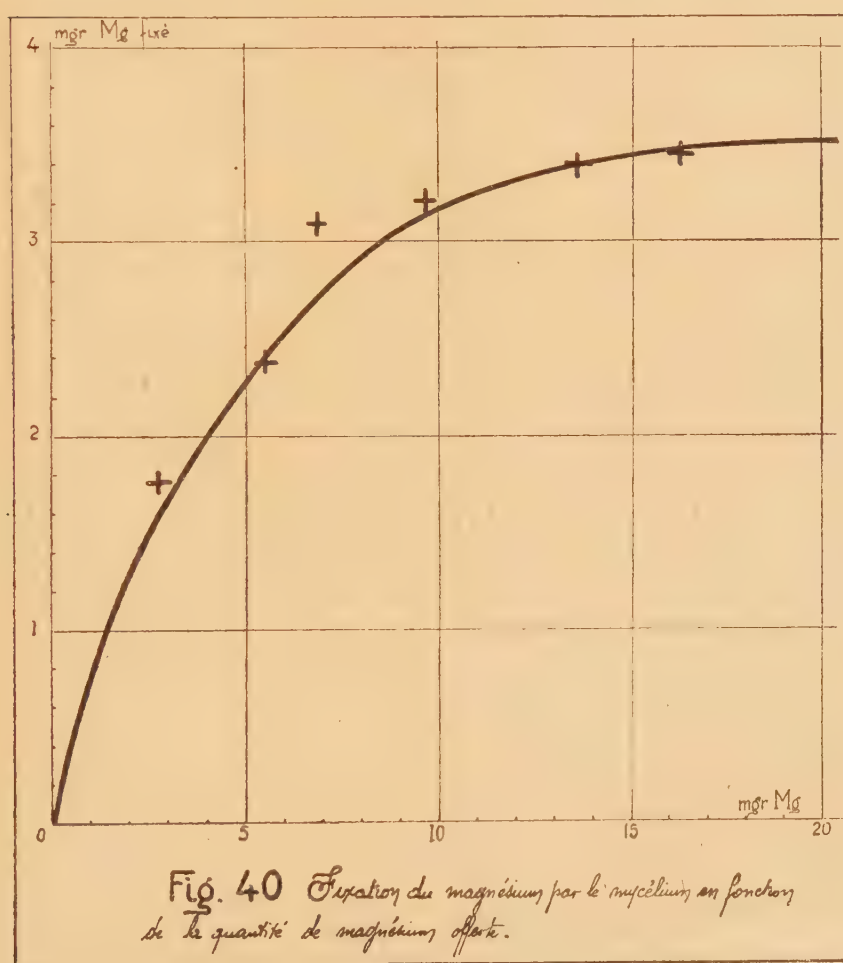
Existe-t-il un rapport constant entre la quantité de magnésium offerte par le milieu au mycélium, et la quantité exportée par celui-ci. Peut-on déterminer une loi permettant de calculer la quantité de magnésium exportée, en fonction de la teneur initiale du liquide nutritif?



Nous avons déjà vu que la proportion de magnésium absorbé était d'autant plus importante que la teneur en magnésium du liquide initial était plus faible.

1. — Quantité de magnésium fixé par le mycélium.

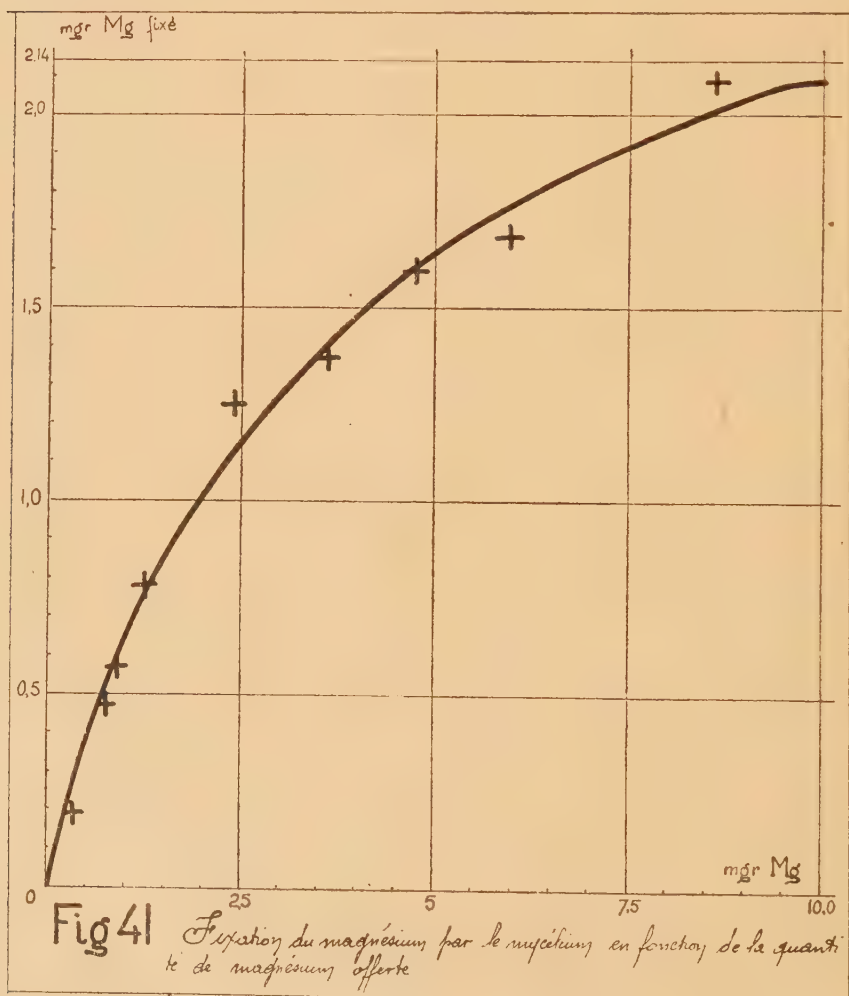
Canals (31) a déterminé les quantités de magnésium fixé par le mycélium d'*Aspergillus niger*, cultivé dans des capsules de porcelaine sur 250 cm³ de liquide de Raulin (légèrement modifié par Mlle Robert) lorsqu'il faisait varier la quantité de magnésium offert au champignon (fig. 39).



Voici les chiffres de Canals :

QUANTITÉ OFFERTE (POUR 250 CM ³)	MAGNÉSIUM FIXÉ
5 mgr.	0,992 mgr.
10 mgr.	2,48 mgr.
25 mgr.	8,0 mgr.
125 mgr.	12,4 mgr.

Les quantités de magnésium offertes au mycélium, dans cette expérience, sont très élevées.



Nous avons effectué nos propres expériences, sur 100 cm³ d'un liquide nutritif très voisin de celui qu'employa Canals, mais en diminuant beaucoup la quantité de magnésium offerte. Les expériences sont faites dans des ballons Pyrex de 250 cm³ à fond plat.

Voici les chiffres de 3 expériences.

Expérience n° 1 (fig. 40).

Mg offert en mgr.	2,72	5,44	6,80	9,52	13,60	16,32
Mg fixé en mgr.	1,75	2,38	3,10	3,22	3,41	3,47
Poids de la récolte en gr.	2,36	2,34	2,29	2,29	2,30	2,30

Expérience n° 2 (fig. 41).

Mg offert en mgr.	0,33	0,64	0,91	1,25	2,38	3,60	4,74	5,94	8,30
Mg fixé en mgr.	0,19	0,47	0,56	0,78	1,25	1,37	1,60	1,69	2,14
Poids de la récolte	1,16	1,66	1,79	1,60	2,02	1,96	1,97	1,93	1,97

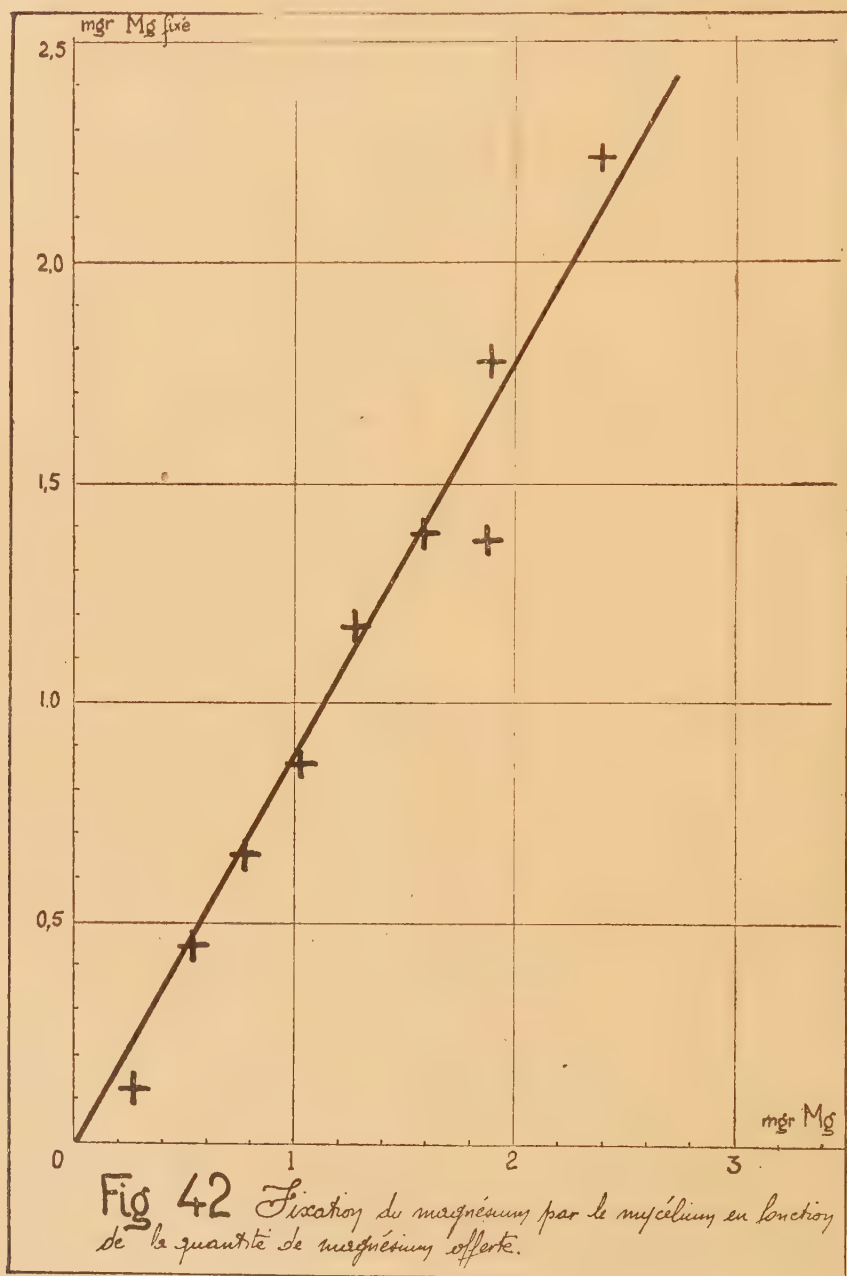
Expérience n° 3 (fig. 42).

Mg offert en mgr.	0,29	0,52	0,77	1,04	1,28	1,59	1,89	1,93	2,41
Mg fixé en mgr.	0,13	0,45	0,67	0,86	1,17	1,40	1,37	1,77	2,23
Poids de la récolte	1,15	1,42	1,68	2,86	2,84	3,12	3,07	3,17	3,09

1° Portons en abscisses les quantités de magnésium offert, en ordonnées les quantités de magnésium fixé. Le graphique montre que, pour les faibles teneurs en magnésium du milieu nutritif, inférieures à 2,5 mgr. pour 100 cm³, la courbe est pratiquement linéaire.

Lorsque la teneur en magnésium du milieu nutritif augmente, la courbe affecte la forme d'une branche d'exponentielle.

2° Posons Y = quantité de magnésium fixée par le mycélium.
 P = poids de ce mycélium.



Lavollay dans sa thèse (1) et (32) a montré que lorsque la teneur en magnésium du milieu nutritif est inférieure à la dose optimale les valeurs de Y et P données par l'expérience vérifient la formule :

$$Y = A P^{\alpha}$$

$$\text{d'où } \log Y = \alpha \log P + A$$

où A et α sont des constantes, $\alpha > 1$.

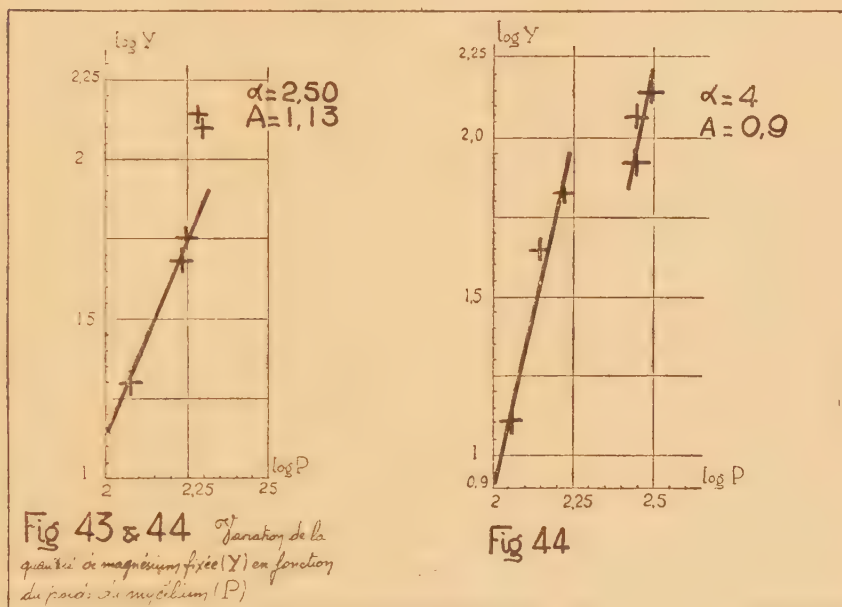
Les expériences ci-dessus confirment cette loi.

La 1^{re} expérience n'a pu être utilisée, les teneurs en magnésium du milieu nutritif étant supérieures aux doses optimales.

Portons sur un graphique :

en abscisses, $\log P$

en ordonnées, $\log Y$ (fig. 43 et 44).



Pour les récoltes obtenues avec une teneur en magnésium inférieure à la teneur optimale, les points obtenus s'alignent sur une droite.

Lorsqu'on dépasse la dose optimale de magnésium, les points obtenus s'alignent encore, mais sur une autre droite — d'ailleurs presque parallèle à la première.

On remarquera sur ce graphique (fig. 44) que les logarithmes des masses de magnésium exportées par la récolte, se répartissent sur 2 segments de droite. On remarquera en outre que lorsque les logarithmes des masses de magnésium exportées passent du 1^{er} au 2^e segment de droite, le poids de récolte est voisin de son optimum et que par conséquent une loi de la forme $Y = A P^{\alpha}$ ne demeure valable — comme c'est

d'ailleurs évident — que jusqu'au point où l'optimum de récolte est atteint. Le fait se produit, d'après la 2^e expérience, pour une concentration en magnésium comprise entre 0,91 et 1,25 mgr.

D'après la 3^e expérience, pour une concentration en magnésium comprise entre 0,77 et 1,04 mgr.

On peut donc admettre que dans les conditions de ces expériences l'optimum de récolte est atteint lorsque la concentration en magnésium du milieu est voisine de 1 mgr.

La valeur de α est de 2,50 pour l'expérience n° 2.
 — 4,0 — n° 3.

La valeur de A est également fournie par le graphique.

Si l'on évalue la quantité de magnésium en $\frac{1}{100}$ de mgr. le poids de récolte en centigrammes, les valeurs de A sont respectivement :

1,13 pour la 2^e expérience,
 0,9 pour la 3^e expérience.

2. — Quantité de magnésium fixé pour 100 gr. de récolte.

Lorsqu'on augmente la teneur en magnésium du milieu nutritif, le poids de récolte augmente.

Nous venons de voir que la quantité de magnésium fixé augmente suivant une loi logarithmique.

Nous avons vu également que la courbe de développement du mycélium, en fonction de la teneur en magnésium du milieu de culture peut également être exprimée par une loi logarithmique

$$P = A(1 - e^{-cx}).$$

De ce fait, la quantité de magnésium fixée par un poids donné de récolte, 100 gr. par exemple, doit varier suivant une loi de même forme. *Lavollay* (1), a montré d'après des expériences portant sur le *Penicillium glaucum*, l'*Aspergillus niger* et des cellules de levure de bière, qu'en effet la concentration du magnésium à l'intérieur de la matière vivante, varie avec la teneur en magnésium du milieu, suivant

une loi de la forme : $y = Kx^{\frac{1}{p}}$

$$\text{d'où } \log y = \frac{1}{p} \log x + K,$$

y étant la quantité de magnésium fixé par 100 gr. de matière sèche,
 x la teneur en magnésium de 100 cm³ de liquide nutritif.

$$K \text{ et } \frac{1}{p} \text{ sont des constantes, } \frac{1}{p} < 1.$$

Les chiffres de nos expériences vérifient également la loi proposée par *Lavollay*.

Les cultures sont effectuées sur un milieu analogue à celui de Raulin — en ballons Pyrex de 250 cm³ contenant 125 cm³ de liquide.

Expérience n° 1

Magnésium offert pour 100 cm ³ (en mgr.)	2,72	5,44	6,80	9,52	13,60	16,32
Magnésium fixé pour 100 gr. de récolte (en mgr.)	74,10	101,7	135,3	140,6	148,3	158,7

Expérience n° 2

Magnésium offert pour 100 cm ³ de liquide (en mgr.)	0,29	0,52	0,77	1,04	1,28	1,59	1,89	1,93	2,41
Magnésium fixé par 100 gr. de récolte (en mgr.)	11	31	39	30	31	45	45	56	72

Portons sur un graphique :

en abscisses, log. x (x étant évalué en $\frac{1}{100^e}$ de milligrammes),

en ordonnées log. y (y étant évalué en milligrammes).

Les points obtenus se placent sur une droite.

Les valeurs de K et $\frac{1}{p}$ sont fournies par le graphique.

1^{re} expérience (fig. 45) $K = 292$

$$\frac{1}{p} = 0,59$$

2^e expérience (fig. 46) $K = 362$

$$\frac{1}{p} = 0,52$$

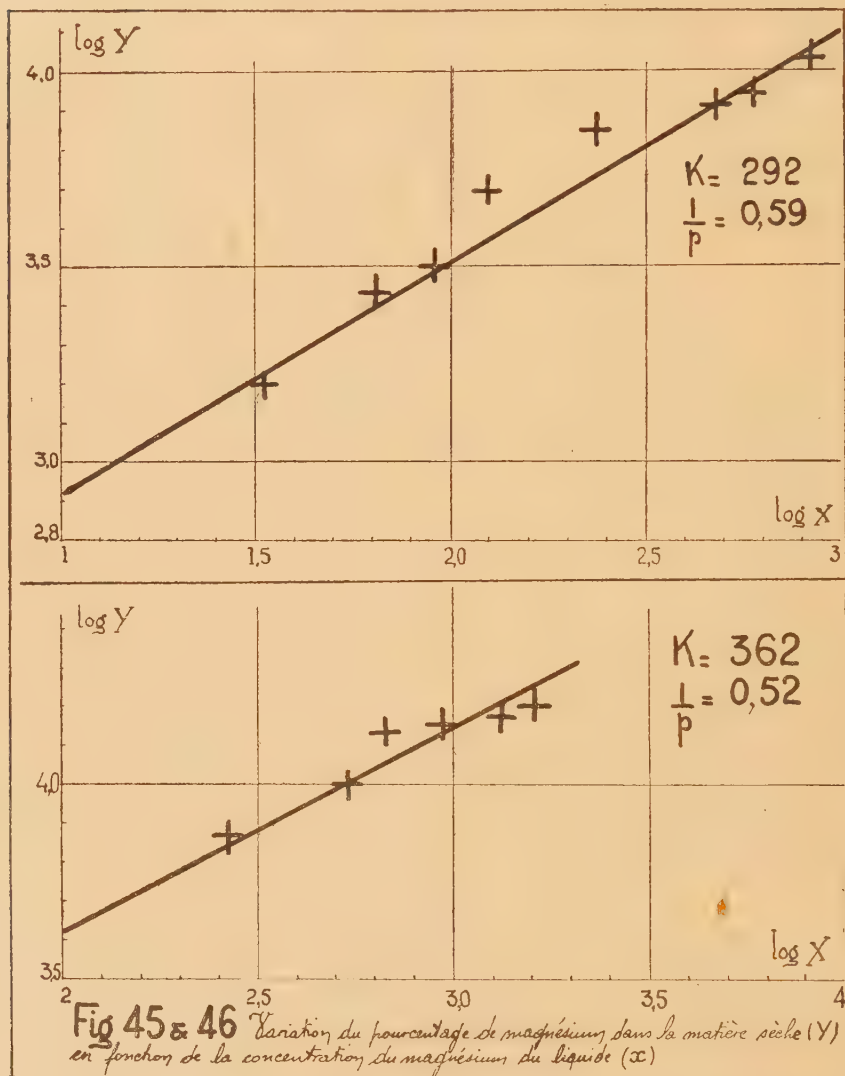
Nous avons effectué une 3^e expérience, dans des conditions ana-

logues, mais différant des 2 précédentes par la teneur en sucre du liquide, qui est ici de 100 gr. par litre au lieu de 50 gr.

Dans les mêmes conditions que précédemment, nous obtenons comme valeurs des paramètres :

$$K = 263 \quad (\text{fig. 47})$$

$$\frac{1}{p} = 0,90$$



Dans ce cas, la quantité de magnésium fixé est presque proportionnelle à sa concentration dans le milieu, lorsque le milieu est

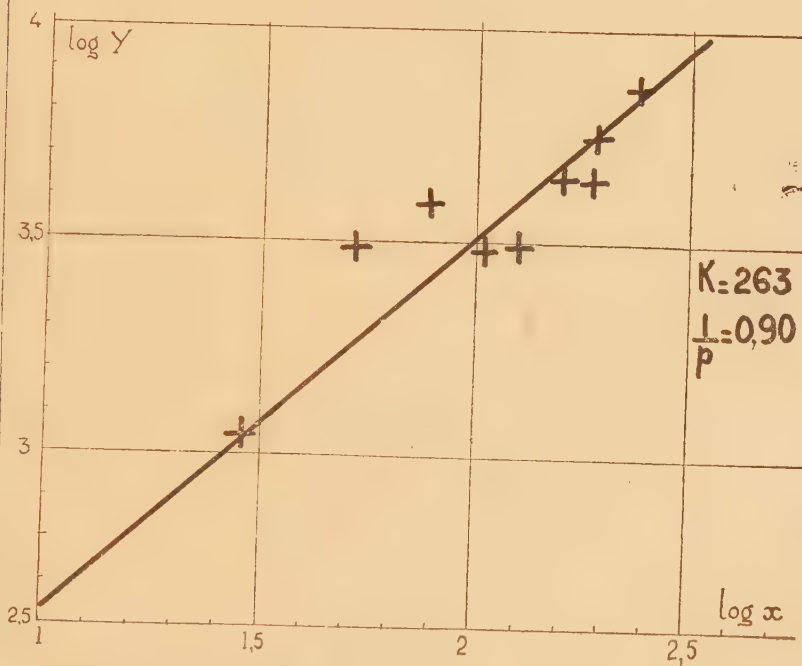
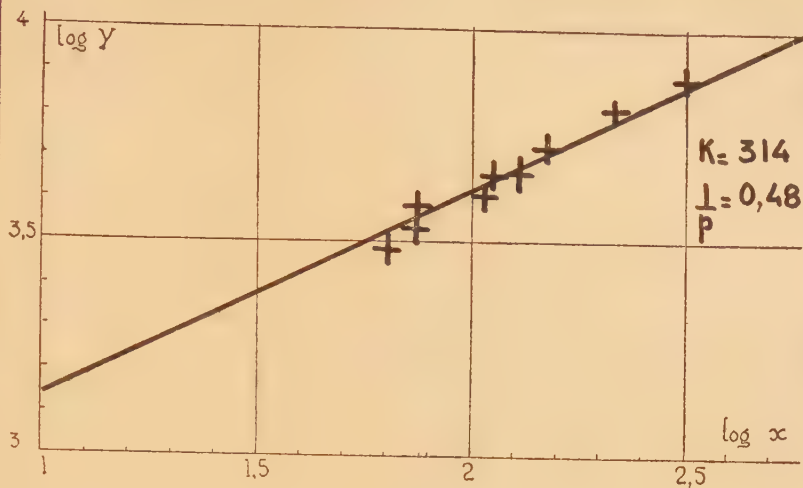


Fig 47 & 48 Variation du pourcentage de magnésium dans la matière sèche (Y) en fonction de la concentration en magnésium du liquide (x)

plus concentré en glucose, la proportion de magnésium fixé est beaucoup plus importante¹.

Enfin une autre expérience effectuée sur milieu de composition constante nous a donné les résultats suivants :

Expérience n° 4

$$K = 314 \quad (\text{fig. 48})$$

$$\frac{1}{p} = 0,48$$

Les valeurs des paramètres sont évaluées dans les mêmes systèmes d'unité que dans les expériences précédentes.

Ces paramètres ont des valeurs très voisines dans cette dernière expérience et dans celles où les mycéliums sont cultivés en ballons — ce qui prouve que c'est bien selon la *concentration* du magnésium dans le liquide et non selon la *quantité présente*, que varie la teneur en magnésium de la matière vivante.

CONCLUSION. — Ces deux séries d'expériences, nous ont permis de vérifier sur l'*Aspergillus niger* les lois proposées par Lavollay en ce qui concerne la fixation du magnésium par les végétaux.

1° Si l'on désigne par Y la quantité de magnésium fixée par le mycélium, et si P est le poids de la récolte, on peut écrire :

$$Y = A P^{\alpha}$$

2° Si l'on désigne par y la quantité de magnésium fixée par 100 gr. de récolte, et x la teneur en magnésium de 100 cm³ de liquide nutritif, on peut écrire :

$$y = K x^{\frac{1}{p}}$$

où A et α , K et $\frac{1}{p}$ sont des constantes avec $\alpha > 1$, $\frac{1}{p} < 1$.

1. Ce fait est à mettre en rapport avec le rôle attribué au magnésium dans le métabolisme glucidique.

TROISIÈME PARTIE

INFLUENCE DE LA COMPOSITION DU MILIEU SUR LE COEFFICIENT D'ACTION DU MAGNÉSIUM

La formule proposée par Mitscherlich s'est révélée comme applicable, dans certains cas, avec des approximations assez étroites, à certains phénomènes de nutrition.

Le mathématicien *Baule* (25) a étendu la formule de Mitscherlich au cas où l'on fait varier la teneur du milieu en plusieurs éléments. D'après lui, si on désigne par E la récolte maximum,

par $x_1, x_2, x_3... x_n$ les éléments dont la concentration varie dans le milieu,

et $c_1, c_2, c_3... c_n$ les coefficients d'actions propres à chacun d'eux, on aurait, en appelant y la récolte obtenue :

$$y = E (1 - e^{-c_1 x_1}) (1 - e^{-c_2 x_2}) (1 - e^{-c_3 x_3})... (1 - e^{-c_n x_n}).$$

Pour lui, comme pour Mitscherlich, la signification du coefficient c apparaît donc comme très large. Mitscherlich affirmait que la valeur de ce coefficient était uniquement déterminée par la nature de l'élément nutritif envisagé. Elle ne varierait ni avec l'espèce de la plante, la température, le temps de culture, la composition du milieu et la quantité présente dans ce milieu, des autres éléments.

Cependant dès 1895, *Liebscher* (18) avait signalé l'importance, pour l'utilisation d'un aliment, des autres conditions de milieu.

Vingt ans après *Pfeiffer* et ses collaborateurs (19) puis *E. G. Pringsheim* (20), insistaient sur cette idée et la développaient. En 1925, *A. Niethammer* (33), obtint avec l'*Aspergillus niger* des résultats en accord avec la formule proposée par Mitscherlich-Baule. Ses résultats furent vigoureusement critiqués par *R. Meyer* (34).

Des expériences de *Söding*, 1928 (30) il résulte que les récoltes obtenues en cultivant une moisissure sur un milieu où varient les

concentrations en plusieurs éléments, sont constamment supérieures à celles qu'on devrait obtenir d'après cette loi.

Rudolf Meyer (35) — 1928 — présente un autre argument contre la formule ci-dessus.

Il construit les courbes de récolte en fonction de la variation de la teneur en azote dans plusieurs milieux de culture, différant par leur teneur en phosphore ; et il étudie les valeurs des tangentes à l'origine de ces différentes courbes suivant la quantité de phosphore contenue dans chaque milieu.

Meyer développe le raisonnement suivant :

On sait que $tg_0 = c \times A$

(si A = récolte maximum

c = coefficient d'action d'un élément donné.)

Si, dans le milieu de culture, on diminue la teneur en un élément autre que x , la valeur du poids maximum de récolte, A , doit décroître et tendre vers la valeur 0.

Donc $tg_0 = c \times A \rightarrow 0$.

En pratique, d'après les résultats expérimentaux de R. Meyer, la valeur de la tangente à l'origine à la courbe de récolte en fonction de la teneur en azote, ne diminue pas lorsque diminue la teneur en phosphore du milieu.

Ces expériences confirment également l'opinion de *Rippel* (36), suivant laquelle le coefficient d'action d'une substance nutritive est d'autant plus élevé qu'il y a insuffisance plus ou moins sensible d'un ou plusieurs autres éléments.

La même affirmation a pu être faite au sujet de plantes supérieures, en particulier par *Lemmermann* (37) et par *Klechkowsky* (38) qui ont constaté que c de P^2O_5 varie quand l'apport d'azote varie aussi.

Nous nous proposons de rechercher dans ce chapitre quelles incidences peuvent avoir, sur la valeur du coefficient d'action du magnésium, certaines modifications apportées à la composition du milieu de culture. Nous aurons à comparer les valeurs de A , de c , et de x , obtenues dans chaque expérience avec les valeurs respectives de chacun de ces paramètres pour des cultures en milieu normal.

Mais nous avons déjà vu que, d'une expérience à l'autre, les principaux éléments de la formule $P = A(1 - e^{-cx})$ peuvent varier. Aussi avons-nous dû, dans chaque cas, effectuer, au cours d'une même expérience, des cultures sur deux milieux :

— le milieu type et

— le milieu à étudier.

C'est seulement dans ces conditions qu'on peut affirmer que les conditions expérimentales des deux séries de culture sont les mêmes,

tant du point de vue de la température, de l'état hygrométrique et de la vitesse d'agitation qu'en ce qui concerne le temps de culture et surtout la qualité des conidies. Les poids de récolte obtenus sur chacun des milieux pour une même dose de magnésium sont ainsi parfaitement comparables.

Les poids maximum des récoltes obtenues sur chacun des milieux sont généralement différents. Le poids maximum de récolte obtenu sur un milieu dilué est plus faible que celui qu'on obtient sur milieu normal.

C'est pourquoi nous continuons à prendre comme unité la valeur du maximum de récolte, et à calculer par rapport à ce maximum la valeur du poids de récolte obtenu dans chaque cas.

Les courbes théoriques sont calculées comme au cours des expériences précédemment décrites.

Suivant les modifications apportées à la composition du milieu étudié, le coefficient d'action du magnésium dans ce milieu peut être ou non, différent du coefficient d'action du magnésium en milieu normal.

CHAPITRE VI

Expériences préliminaires

Notre dispositif ne permettait malheureusement d'effectuer chaque fois que 8 cultures. L'obligation d'effectuer une expérience témoin réduit à 4 le nombre de points permettant de construire chaque courbe. De ce fait, pour quatre des expériences qui vont suivre, la courbe théorique sera déterminée avec une précision un peu moindre que dans les expériences précédentes. Aussi avons-nous effectué, dans chaque cas, une expérience analogue, mais dans des ballons de 250 cm³, ce qui nous permet de constater que les résultats obtenus sont identiques.

1. — Le milieu de culture est dilué de moitié.

Expérience n° 1 (fig. 49).

Les cultures sont faites comparativement sur un milieu normal, et sur un milieu deux fois plus dilué.

La teneur en tous les constituants du milieu, est moitié moindre dans ce milieu que dans le milieu témoin.

Nous donnons ici uniquement la valeur des poids secs rapportés à 100 cm² de surface.

a) L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 3,32 \text{ gr.}$$

$$c = 1,85$$

$$x_c = 0,53$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,25	1,17	35,2	37,0	— 4,3
0,50	1,86	56,0	60,3	— 7,1
0,85	2,81	84,6	79,2	— 6,8
1,70	3,32	100	95,7	+ 4,55

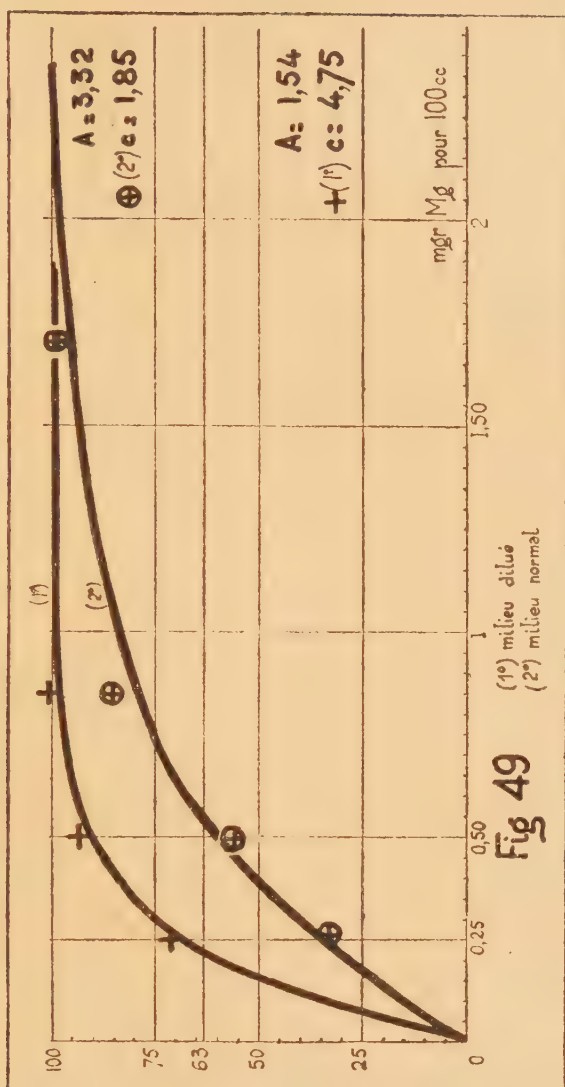


Fig 49

b) Le milieu à étudier a la composition suivante :

Glucose.....	25 gr.
Acide tartrique.....	1,33
$\text{NO}^3 \text{NH}^4$	1,33
$\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$	0,20
$\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$	0,085
$\text{SO}^4 \text{Fe}$	0,023
$\text{SiO}^3 \text{K}^2$	0,023
$\text{SO}^4 \text{Mn}$, 4 $\text{H}^2 \text{O}$	0,004
$\text{SO}^4 \text{Zn}$, 7 $\text{H}^2 \text{O}$	0,0025
Eau bidistillée.....	q. s. p. 1000

Voici les résultats obtenus sur ce milieu.

$$A = 1,54$$

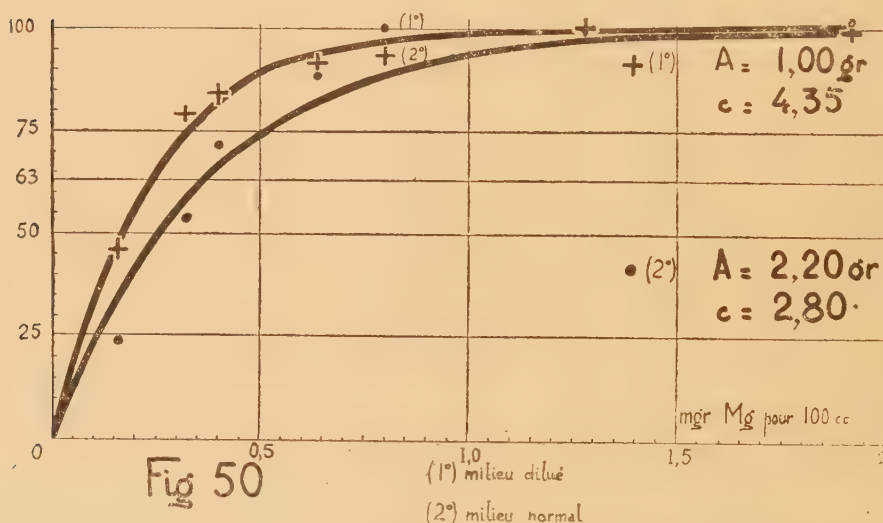
$$c = 4,75$$

$$x_e = 0,21$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,25	1,10	71,8	69,6	+ 2,5
0,50	1,44	93,5	90,7	+ 3,0
0,85	1,57	101,3	98,3	+ 2,0
1,70	1,51	98,1	100,0	— 2,0

Comparons les valeurs trouvées pour A , c et x_e dans ces 2 séries de cultures.

D'une série de culture à l'autre la valeur du maximum passe de 3,32 gr. à 1,54 gr. soit à 46 % de sa valeur.



Ce maximum est atteint sur le milieu étudié pour une concentration en magnésium beaucoup plus faible que sur le milieu normal. 63 % du maximum sont obtenus pour une concentration en magnésium de 0,21 mgr. de magnésium pour 100 cm³ de liquide. En milieu normal la concentration x_e pour laquelle on obtenait 63 % de l'op-

timum, avait pour valeur : $x_c = 0,53$ mgr. de magnésium pour 100 cm^3 de liquide.

Le coefficient d'action du magnésium, $c = \frac{1}{x_c}$, a donc pour valeur :

en milieu normal $c = 1,85$

en milieu dilué $c = 4,75$

Le coefficient d'action, en milieu dilué, représente 257 % de la valeur qu'il affecte en milieu normal.

Expérience n° 2, en milieu limité (ballons Pyrex) (fig. 50).

a) L'expérience témoin sur milieu normal, a donné les résultats suivants :

$$A = 2,20$$

$$c = 2,80$$

$$x_c = 0,34$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 cm^3	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS THÉORIQUE	ERREUR %
0,16	0,526	23,9	36,1	— 34
0,32	1,188	54,0	59,1	— 8,4
0,40	1,574	71,6	67,4	+ 6,3
0,64	1,962	89,2	83,3	+ 7,1
0,80	2,204	100,1	89,3	+ 12,0
1,92	2,240	101,8	99,2	+ 2,6

b) L'expérience sur milieu dilué a donné les résultats suivants :

$$A = 1,00$$

$$c = 4,35$$

$$x_c = 0,23$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 cm^3	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS THÉORIQUE	ERREUR %
0,16	0,461	46,1	50,1	— 8,0
0,32	0,789	78,9	75,1	+ 5,1
0,40	0,835	83,5	82,4	+ 1,4
0,64	0,915	91,5	93,8	— 2,4
0,80	0,932	93,2	96,9	— 3,8
1,28	0,998	99,8	99,6	+ 0,2
1,92	0,990	99,0	100	— 1,0

Comparons les valeurs trouvées pour A, c et x_c dans ces deux séries de cultures. D'une série de cultures à l'autre, la valeur du maximum passe de 2,20 gr. à 1,0 gr. soit à 45,5 % de sa valeur,

et la valeur du coefficient d'action passe à 152 % de sa valeur.

La dilution du milieu a donc une influence très sensible sur le coefficient d'action du magnésium.

Le coefficient d'action du magnésium est beaucoup plus élevé lorsque les cultures sont faites sur un milieu où tous les éléments sont à une concentration réduite, que lorsqu'elles sont faites sur un milieu normal.

L'expérience précédente ne saurait nous apprendre si la restriction en tous les éléments est indispensable pour modifier le coefficient d'action. Peut-être la disparition partielle de l'un ou de quelques-uns des constituants du milieu, suffirait-elle à produire la même augmentation du coefficient d'action du magnésium.

Nous avons étudié successivement quelles conséquences entraînait pour le coefficient d'action du magnésium :

1° La restriction de la teneur en glucose,

2° La restriction de la teneur en sels minéraux, les autres aliments étant maintenus à leur concentration normale.

2. — Diminution de la teneur en glucose.

Expérience n° 1 (fig. 51).

Les cultures sont faites comparativement sur un milieu normal et sur un milieu dont la teneur en glucose est de moitié plus faible.

a) L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

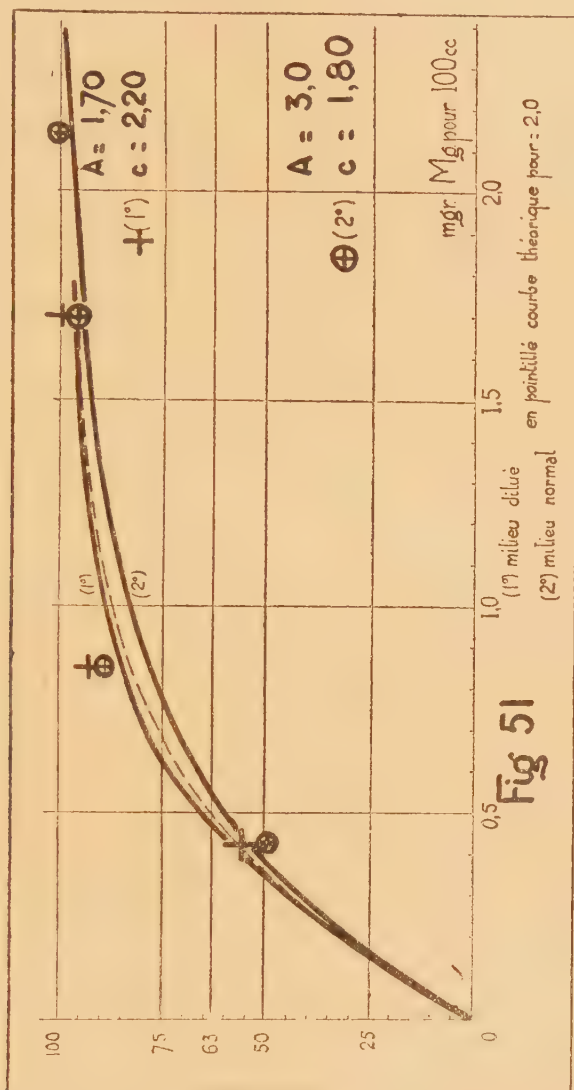
$$A = 3 \text{ gr.}$$

$$c = 2$$

$$x_c = 0,50$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,43	1,48	49,3	57,7	— 14,5
0,85	2,68	89,3	82,1	+ 8,7
1,70	2,90	96,7	96,8	— 0,1
2,14	3,01	100,3	99,9	+ 0,4

La deuxième série de cultures est faite sur un milieu dont la teneur en sucre est de 25 gr. par litre, celle du milieu normal étant de 50 gr. par litre.



Tous les autres éléments se trouvent à la même concentration dans le liquide de culture et dans le liquide normal.

Il faut noter d'ailleurs que la teneur en acide tartrique est restée la même. Ce n'est donc pas une diminution de moitié de l'aliment carboné, mais bien une réduction du glucose seul. L'apport de carbone dû à l'acide tartrique est d'ailleurs relativement assez faible, puisque le

milieu normal ne comporte que 2 gr. 67 d'acide tartrique alors qu'il comporte 50 gr. de glucose par litre.

b) L'expérience sur milieu dilué a donné les résultats suivants :

$$A = 1,70$$

$$c = 2$$

$$x_c = 0,50$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,43	0,98	57,6	57,7	— 0,2
0,85	1,52	92,9	82,1	+ 12,1
1,70	1,68	98,8	96,8	+ 2

Comparons les valeurs trouvées pour A, c et x_c , avec les valeurs correspondantes trouvées dans l'expérience témoin.

Lorsque le milieu nutritif contient 50 gr. de glucose par litre, le poids maximum de récolte est : A = 3 gr. Le poids maximum de récolte lorsque le milieu ne contient que 25 gr. de glucose par litre, est 1 gr. 70, c'est-à-dire 57 % du poids de récolte obtenu sur milieu normal. La concentration en glucose du milieu nutritif a donc une grande influence sur la valeur absolue du poids de récolte.

Les courbes de récolte pour ces 2 séries de cultures, peuvent être ramenées (avec des erreurs allant jusqu'à 14 %) à une même courbe théorique où le coefficient d'action a pour valeur $c = 2$. Mais il faut remarquer qu'on peut, avec des erreurs du même ordre, grouper les points expérimentaux autour de 2 courbes théoriques où les coefficients ont pour valeur :

en milieu normal $c = 1,80$

en milieu dilué $c = 2,20$

En milieu normal, les valeurs des poids de récoltes calculés avec le coefficient $c = 1,80$ sont les suivantes :

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,43	49,3	54,3	— 9,3
0,85	89,3	79,1	+ 12,8
1,70	96,7	95,6	+ 1,1
2,14	100,3	98,0	+ 2,3

En milieu dilué, les valeurs des poids de récoltes calculés avec le coefficient $c = 2,20$ sont les suivantes :

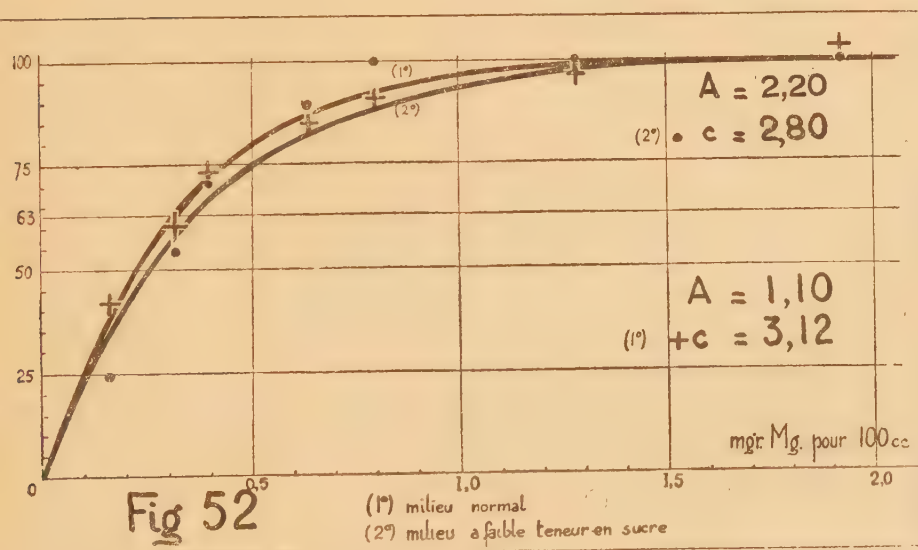
CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉS	ERREUR %
0,43	56,7	61,1	— 6
0,85	92,9	84,6	+ 10
1,70	98,8	97,6	+ 0,4

On peut donc dire que la valeur du coefficient d'action du magnésium, lorsqu'on diminue de moitié la teneur en glucose du milieu de culture, est très peu différente de la valeur de ce coefficient, obtenue pour un milieu normal. Il est même possible que la valeur de ces 2 coefficients soit identique. (Voir le graphique.)

Expérience n° 2, en milieu limité (fig. 52).

L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned} A &= 2,20 \\ c &= 2,80 \\ x_c &= 0,34 \end{aligned}$$



CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,526	23,9	36,1	— 34
0,32	1,188	54,0	59,4	— 8,4
0,40	1,574	71,6	67,4	+ 6,3
0,64	1,962	89,2	83,3	+ 7,1
0,80	2,204	100,1	89,3	+ 12,0
1,28	2,206	100,1	97,2	+ 2,9
1,92	2,240	101,8	99,2	+ 2,6

L'expérience sur milieu à faible teneur en glucoses a donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned}
 A &= 1,10 \\
 c &= 3,12 \\
 x_c &= 0,32
 \end{aligned}$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,463	42,1	39,4	+ 6,8
0,32	0,665	60,5	63,3	— 4,4
0,40	0,802	72,9	71,5	+ 2,0
0,64	0,936	85,1	86,5	— 1,7
0,80	1,002	91,1	91,8	— 0,8
1,28	1,062	96,5	98,2	— 1,7
1,93	1,131	102,9	99,7	+ 3,2

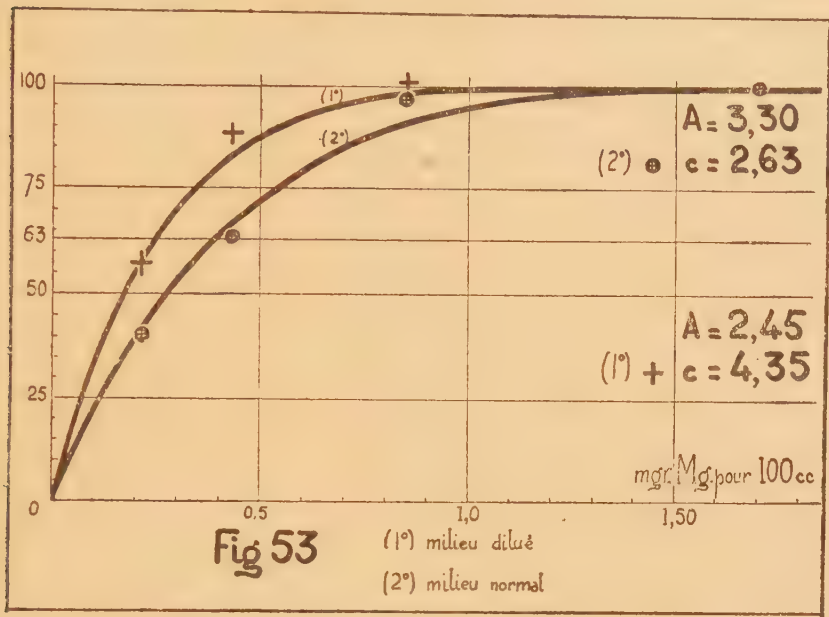
Comparons les valeurs obtenues pour A, c, et x_c dans ces deux séries de cultures. La valeur du maximum passe de 2,20 gr. à 1,10 gr. c'est-à-dire à 50 % de sa valeur. Le coefficient d'action du magnésium devient 111 % de ce qu'il était en milieu normal, lorsqu'on diminue de moitié la teneur en sucre.

La valeur du coefficient d'action du magnésium en milieu à faible teneur en glucose, est très voisine de la valeur de ce coefficient en milieu normal. Elle est probablement un peu plus forte, ne différant au plus que de 20 % de la valeur normale.

3. — Diminution de la teneur en sels minéraux.

Expérience n° 1 (fig. 53)

Les cultures sont faites comparativement sur un milieu normal et sur un milieu à faible teneur en sels minéraux.



a) L'expérience témoin, sur milieu normal, a donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned} A &= 3,30 \\ c &= 2,63 \\ x_c &= 0,38 \end{aligned}$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,214	1,32	40,0	43,2	— 7,4
0,43	2,09	63,3	67,7	— 6,5
0,85	3,19	96,7	91,7	+ 5,5
1,70	3,30	100	99,3	+ 0,7

b) La deuxième série de culture est faite sur un milieu dont la composition est la suivante :

Glucose.....	50 gr.
Acide tartrique.....	1,33
$\text{NO}^3 \text{NH}^4$	1,33
$\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$	0,20
$\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$	0,035
$\text{SO}^4 \text{Fe}$	0,023
$\text{SiO}^3 \text{K}^2$	0,023
$\text{SO}^4 \text{Mn}, 4 \text{H}^2\text{O}$	0,004
$\text{SO}^4 \text{Zn}, 7 \text{H}^2\text{O}$	0,0025
Eau bidistillée.....	q. s. p. 1000

La teneur en sels de ce milieu est égale à la moitié de la teneur en sels du liquide de Raulin normal. Les résultats des cultures effectuées sur ce milieu sont les suivants :

$$A = 2,45$$

$$c = 4,35$$

$$x_c = 0,23$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,214	1,41	57,5	60,6	— 5,1
0,43	2,17	88,6	84,4	+ 5,0
0,85	2,47	100,8	87,5	+ 3,7
1,70	2,48	101,2	99,95	+ 1,3

Comparons les valeurs de A, de c, de x_c obtenues dans ces deux séries de cultures.

La valeur du poids maximum des récoltes effectuées sur milieu à faible teneur en sels minéraux représente environ 74 % du poids maximum de récolte effectué sur un milieu normal.

La valeur du coefficient d'action du magnésium en milieu à faible teneur en sels minéraux, est très supérieure à la valeur de ce coefficient en milieu normal (4,35 au lieu de 2,63).

Expérience n° 2 (fig. 54).

Identique à l'expérience précédente.

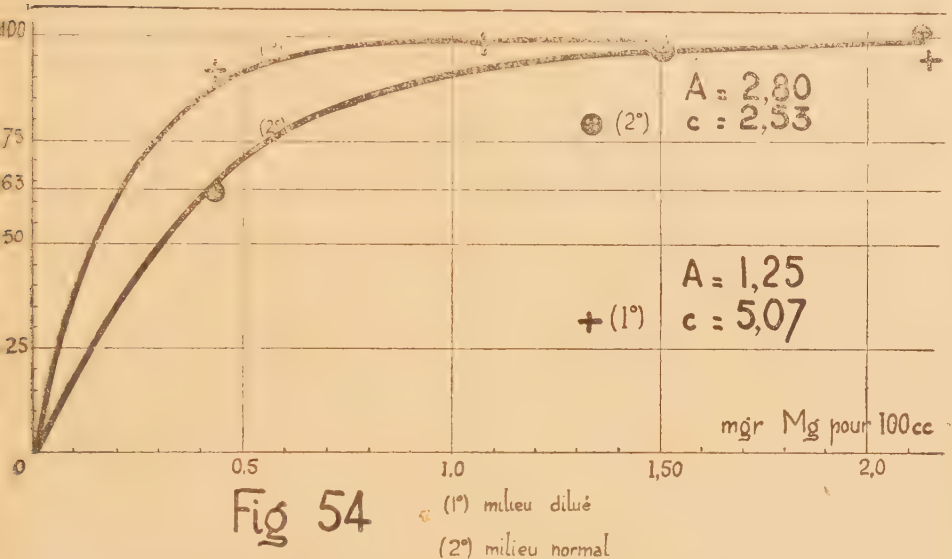
a) L'expérience témoin effectuée sur milieu normal, a donné les résultats suivants :

$$A = 2,80$$

$$c = 2,53$$

$$x_c = 0,40$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS SEC POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,43	1,74	61,5	66,3	— 7,2
1,07	2,66	95,0	93,4	+ 1,6
1,50	2,72	97,0	98,2	— 1,2
2,14	2,86	102,1	99,6	+ 2,5



b) La 2^e série de cultures est effectuée sur un milieu de culture identique au milieu employé dans l'expérience précédente (voir page 105).
Les résultats sont les suivants :

$$\begin{aligned}
 A &= 1,25 \\
 c &= 5,07 \\
 x_c &= 0,20
 \end{aligned}$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS POUR 100 CM ² EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,43	1,97	91,5	88,7	+ 2,5
1,07	2,14	99,5	99,6	— 0,1
1,50	2,19	102,0	99,95	+ 2,0
2,14	2,04	95,0	100	— 5,0

Comparons les valeurs obtenues pour A , c et x_c dans ces deux séries de cultures.

La valeur du poids maximum des récoltes effectuées sur un milieu dilué représente environ 77 % du poids de récolte effectué sur un milieu normal.

La valeur du coefficient d'action du magnésium en milieu à demi-teneur en sels minéraux est très supérieure à la valeur du coefficient en milieu normal (5,07 au lieu de 2,53).

Expérience n° 3, en milieu limité (fig. 55).

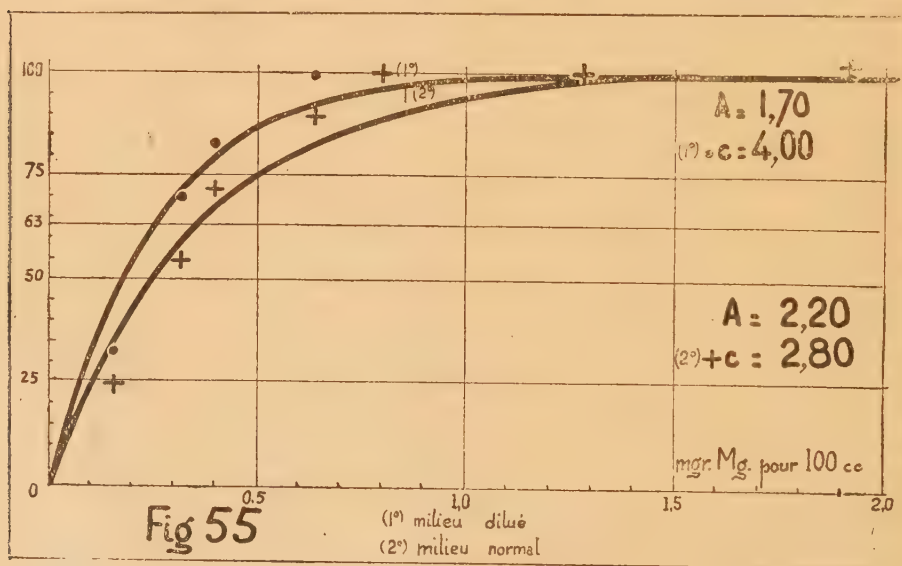
L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 2,20$$

$$c = 2,80$$

$$x_c = 0,34$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,526	23,9	36,1	— 34
0,32	1,188	54,0	59,1	— 8,4
0,40	1,574	71,6	67,4	+ 6,3
0,64	1,962	89,2	83,3	+ 7,1
0,80	2,204	100,1	89,3	+ 12,0
1,28	2,206	100,1	97,2	+ 2,9
1,92	2,240	101,8	99,2	+ 2,6



L'expérience sur milieu à faible teneur en sels minéraux a donné les résultats suivants :

$$A = 1,70$$

$$c = 4,0$$

$$x_c = 0,25$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,540	31,8	47,3	— 32
0,32	1,172	69,3	72,2	— 4,0
0,40	1,400	82,3	79,8	+ 3,1
0,64	1,685	99,1	92,3	+ 7,4
0,80	1,692	99,5	95,9	+ 3,8
1,28	1,692	99,5	99,4	+ 0,1
1,92	1,690	99,5	100	— 0,5

En comparant les valeurs obtenues pour A, c et x_c dans ces deux expériences, nous constatons que le maximum passe à 77 % de sa valeur, et que le coefficient d'action du magnésium devient 143 % de ce qu'il était en milieu normal.

Ces résultats confirment les résultats des expériences précédentes.

Remarque. — D'après la série de 7 expériences qui viennent d'être décrites, il faut remarquer que les variations subies par le coefficient c lorsqu'on modifie le milieu nutritif sont beaucoup plus importantes lorsque les cultures sont faites sur un liquide de composition constante que lorsqu'elles sont faites dans des ballons.

En résumé :

a) Lorsqu'on dilue de moitié le liquide de culture, la valeur du coefficient d'action du magnésium passe de 1,85 à 4,75 et de 2,80 à 4,35, c'est-à-dire qu'il augmente de 157 % et de 52 % de sa valeur.

b) Lorsqu'on diminue la teneur en glucose du liquide de culture, la valeur du coefficient d'action du magnésium passe de 1,80 à 2,20 et de 2,80 à 3,12, c'est-à-dire qu'il n'augmente que de 22 % et de 11 % de sa valeur.

c) Lorsqu'on diminue de moitié la teneur en sels minéraux du liquide de culture, la valeur du coefficient d'action du magnésium passe de 2,63 à 4,35, de 2,53 à 5,07 et de 2,80 à 4,0, c'est-à-dire qu'il augmente de 65 %, de 96 % et de 43 % de sa valeur.

On peut donc conclure de ces expériences que *le coefficient d'action du magnésium se trouve profondément affecté par la disparition partielle des sels minéraux qui constituent le milieu de culture.*

La diminution de la teneur en sels du milieu de Raulin avec ou sans diminution corrélative de la teneur en glucose, augmente l'efficacité du magnésium.

Il y a donc parmi les sels minéraux du liquide nutritif, un ou plusieurs éléments dont la présence en plus ou moins grande quantité, influe sur le mode d'action du magnésium.

Le rapport de la concentration de ces éléments à la concentration en magnésium du milieu, détermine la valeur du coefficient d'action du magnésium.

La valeur de ce coefficient augmente lorsque diminue le rapport $\frac{Q}{Mg}$ (en appelant Q, la concentration du milieu nutritif en ces éléments)

Y a-t-il, parmi les constituants du milieu de Raulin un élément dont la variation influe d'une façon particulière sur le coefficient d'action du magnésium?

Nous avons étudié successivement les modifications qu'entraînaient pour le coefficient c, la variation dans le milieu de :

1° la concentration en azote;

2° la concentration en phosphore.

CHAPITRE VII

Variation du coefficient d'action du magnésium avec la nature et la concentration de l'azote dans le milieu¹

1. — L'azote est offert sous forme de $\text{NO}^3 \text{NH}^4$.

Le milieu de Raulin contient l'azote sous forme de 3 sels.

2,67 gr. de $\text{NO}^3 \text{NH}^4$ par litre,

0,17 gr. de $\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$ par litre,

0,40 gr. de $\text{PO}^4 \text{NH}^4$ par litre, donc 3 sels d'ammonium dont un nitrate.

Dans les expériences qui vont suivre, les cultures sont effectuées parallèlement sur un milieu nutritif normal, et sur un milieu contenant seulement la moitié de la quantité d'azote habituelle c'est-à-dire :

1,33 gr. de $\text{NO}^3 \text{NH}^4$ par litre,

0,085 gr. $\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$,

0,20 gr. $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$.

Expérience n° 1.

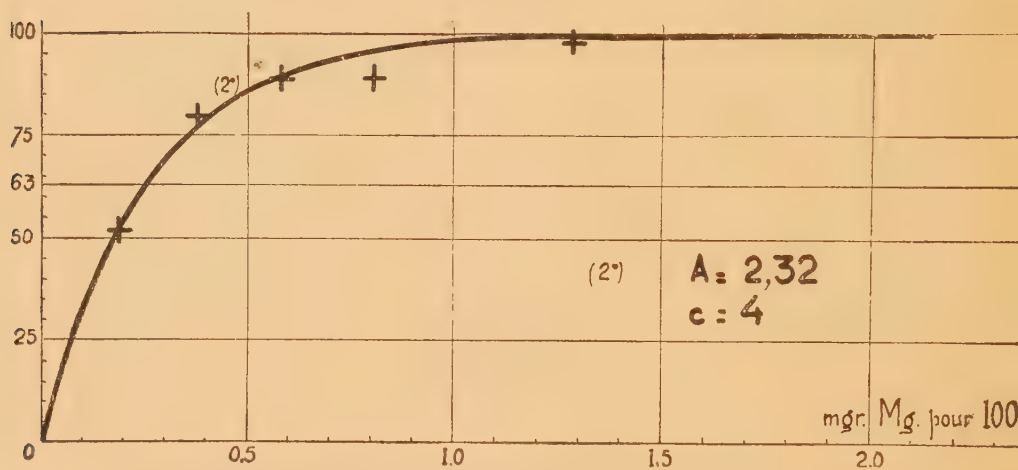
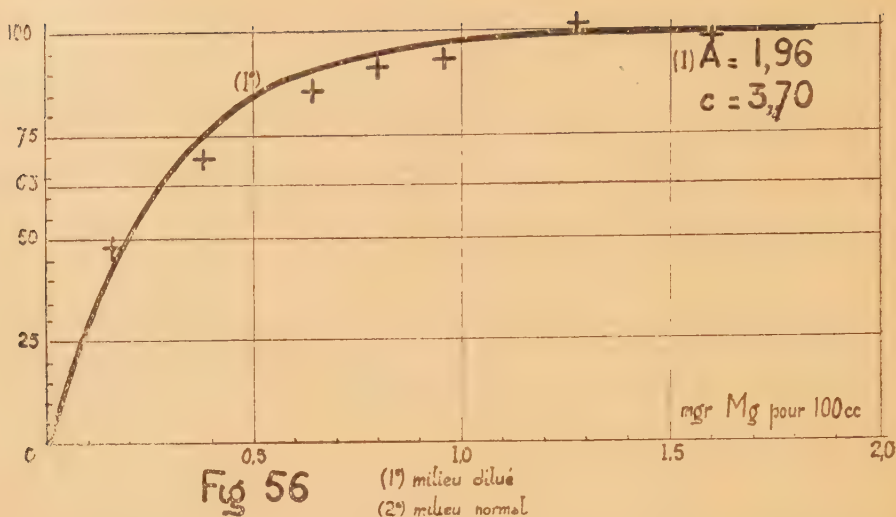
a) L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants (fig. 56) :

$$A = 2,32$$

$$c = 4$$

$$x_c = 0,25$$

1. Dans la série d'expériences relatées dans les chapitres qui vont suivre, les cultures sont faites dans des ballons, le petit nombre d'échantillons obtenus avec les cultures en cristallisoirs entraînant une trop grande imprécision dans la détermination des courbes de développement. Nous avons vu, dans un chapitre précédent (voir chap. iv et v, 2^e partie), que le développement du mycélium suit la même loi quel que soit le mode de culture.



CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,19	1,201	51,8	53,2	— 2,5
0,38	1,844	79,5	78,1	+ 1,8
0,58	2,059	88,7	90,2	— 1,7
0,80	2,063	88,9	95,9	— 7,3
1,28	2,271	97,9	99,4	— 1,5
1,44	2,332	100,5	99,7	+ 0,8
1,60	2,335	100,7	99,8	+ 0,9
1,92	2,311	99,6	99,95	— 0,4

b) Culture sur milieu moins riche en azote.

La diminution de la teneur en azote du liquide de culture, implique la suppression partielle de $\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$ et de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$.

Pour que la teneur du liquide en soufre et en phosphore reste néanmoins la même, nous avons remplacé par :

0,11 gr. de $\text{SO}^4 \text{K}^2$ et 0,236 gr. de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$

les 0,085 gr. de $\text{SO}^4 (\text{NH}^4)^2$

et 0,20 gr. de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$ que nous avons retirés au 1^{er} litre de liquide. Nous avons vérifié auparavant que l'addition d'une quantité supplémentaire de potassium ne modifiait pas le coefficient d'action du magnésium.

Dans ce but l'expérience suivante a été effectuée. Une série de ballons contient du liquide de Raulin privé de magnésium.

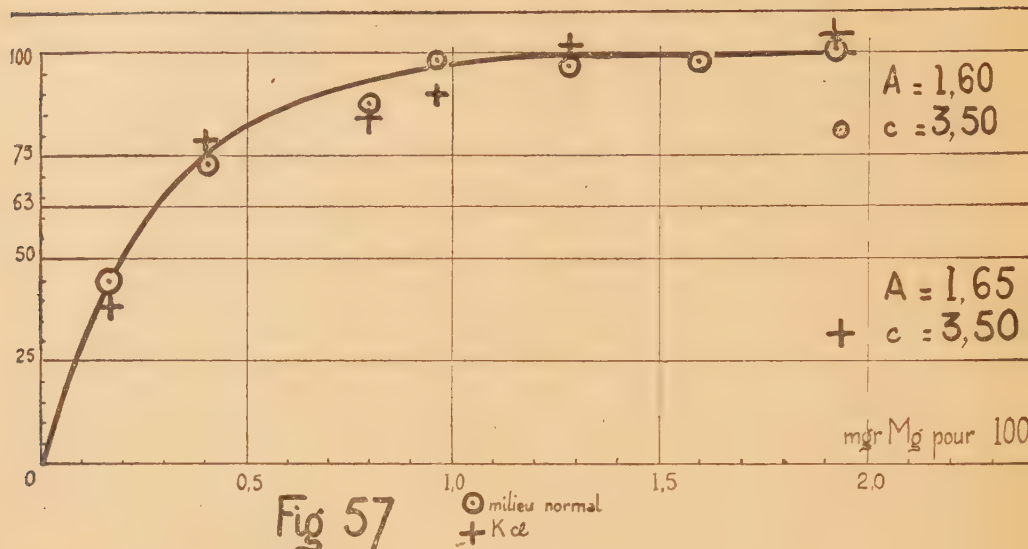
Une autre série de ballons contient le même liquide, mais additionné de 2 gr. K Cl par litre, soit 1,04 gr. de potassium par litre.

(L'apport de potassium dû à 0,11 gr. $\text{SO}^4 \text{K}^2$ et à 0,236 gr. de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$ est de 0,117 gr. par litre).

Le liquide est réparti comme d'habitude à raison de 125 cm³ par ballon de 250 cm³ — des quantités variables de magnésium sont ajoutées à chaque ballon et, après stérilisation, on enseme avec des conidies d'*Aspergillus niger*. Après trois jours de culture à 34°, les poids de récolte obtenus sont les suivants :

1^{re} expérience (fig. 57).

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS DE RÉCOLTE EN MILIEU NORMAL A = 1.60 GR.	POIDS CALCULÉ c = 3.50	POIDS DE RÉCOLTE SUR MILIEU ADDITIONNÉ DE K Cl A = 1.65 GR.
0,08	27,4	24,5	25,7
0,16	43,2	42,9	38,3
0,40	74,2	75,4	79,0
0,80	86,9	93,9	85,4
0,96	98,2	96,5	90,3
1,28	96,0	98,9	102,2
1,60	99,4	99,6	98,2
1,92	101,7	99,9	104,3



2^e expérience (fig. 58).

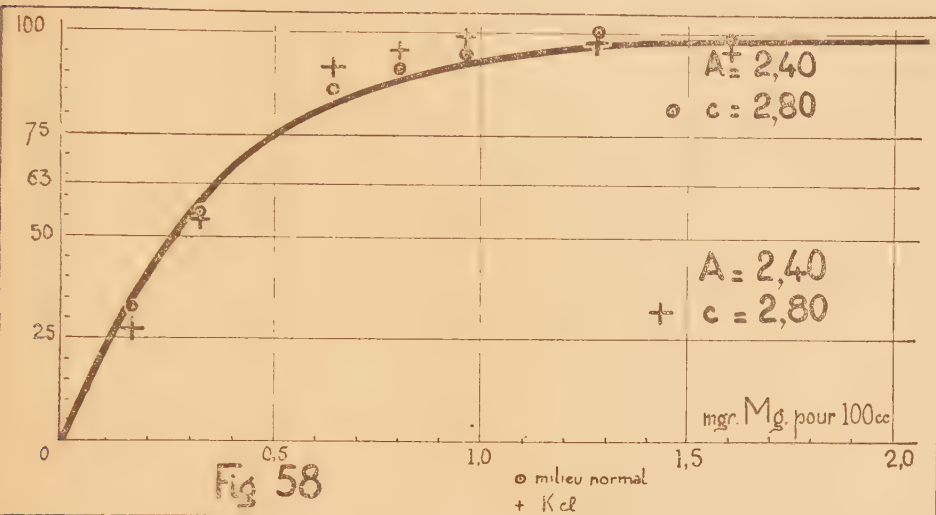
CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM ° EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS DE RÉCOLTE EN MILIEU NORMAL A = 2.40 GR.	POIDS CALCULÉ (c = 2.80)	POIDS DE RÉCOLTE SUR MILIEU ADDITIONNÉ DE K Cl A = 2.40 GR.
0,16	32,7	36,1	26,7
0,32	55,9	59,1	54,1
0,64	86,2	83,3	91,6
0,80	90,7	89,3	96,7
0,96	94,7	93,2	99,2
1,28	100,7	97,2	97,3
1,60	98,4	98,9	93,9

Conclusion : l'addition de KCl au milieu de culture, à la dose de 2 gr. par litre ne modifie pas la forme de la loi d'action du magnésium. Il est par conséquent légitime de compenser la diminution de la teneur en phosphore et en soufre, qu'entraîne la disparition partielle de $PO^4 H^2 NH^4$ et $SO^4 (NH^4)^2$ dans le milieu, par un apport de $PO^4 H^2 K$ et de $SO^4 K^2$.

La composition du milieu de culture, pour une teneur en azote réduite à la moitié de la normale, a donc été la suivante :

Glucose.....	50 gr.
Acide tartrique.....	2,67
$NO^3 NH^4$	1,33

$\text{SO}^4 (\text{NH}^4)_2$	0,085
$\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$	0,20
$\text{SO}^4 \text{Fe}$	0,047
$\text{SiO}^3 \text{K}^2$	0,047
$\text{SO}^4 \text{Zn}$	0,005
$\text{SO}^4 \text{Mn}$	0,008
$\text{SO}^4 \text{K}^2$	0,11
$\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{K}$	0,236
Eau bidistillée	q. s. p. 1.000



Les résultats sont : $A = 1,96$
(fig. 56.) $C = 3,70$
 $x_c = 0,27$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR $A = 100$	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,695	35,4	25,6	+ 39
0,16	0,931	47,5	44,6	+ 6,5
0,38	1,346	68,7	75,5	— 9,1
0,64	1,660	84,7	90,6	— 6,5
0,80	1,787	91,2	94,8	— 3,8
0,96	1,829	93,3	97,1	— 3,9
1,28	1,989	101,5	99,1	+ 2,4
1,60	1,938	98,9	99,7	— 0,8

Comparons les valeurs obtenues pour les valeurs de A , c et x_c dans ces 2 séries de cultures.

La valeur du maximum passe à 85 % de sa valeur quand on diminue de moitié la teneur en azote du milieu nutritif.

La teneur en azote du milieu de Raulin normal semble suffire très largement aux besoins réels de l'*Aspergillus niger*, puisque, lorsqu'on la diminue de moitié, le poids maximum de la récolte ne diminue que de 15 %.

La valeur du coefficient d'action du magnésium passe de 4 à 3,70 lorsqu'on diminue de moitié la teneur en azote du liquide de culture. Il diminue de 7,5 % de sa valeur, c'est-à-dire qu'il en est à peine affecté.

Expérience n° 2 (fig. 59).

a) L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 1,60$$

$$c = 3,50$$

$$x_c = 0,28$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,438	27,4	24,5	+ 12
0,16	0,691	43,2	42,9	+ 7,0
0,40	1,187	74,2	75,9	— 2,2
0,80	1,391	86,9	93,9	— 7,4
0,96	1,571	98,2	96,5	+ 1,8
1,28	1,536	96,0	98,9	— 2,9
1,60	1,591	99,4	99,6	— 0,2
1,92	1,628	101,7	99,9	+ 1,8

b) L'expérience sur milieu a teneur en azote moitié moindre a donné les résultats suivants :

$$A = 1,45$$

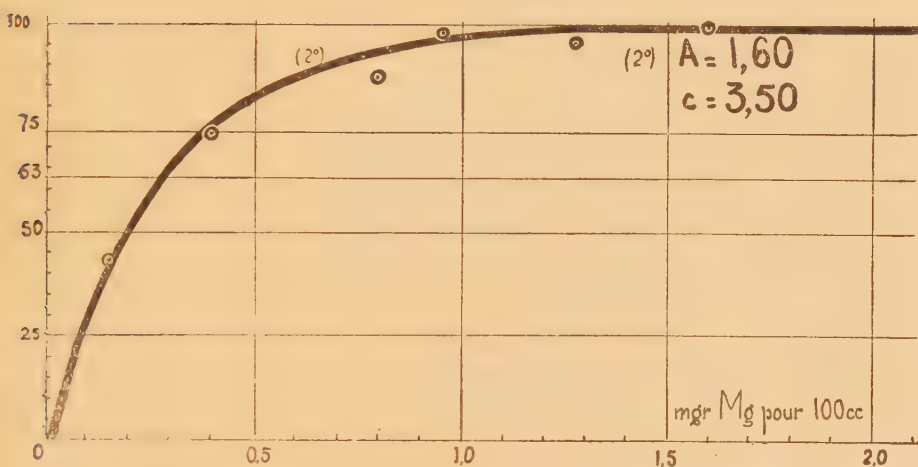
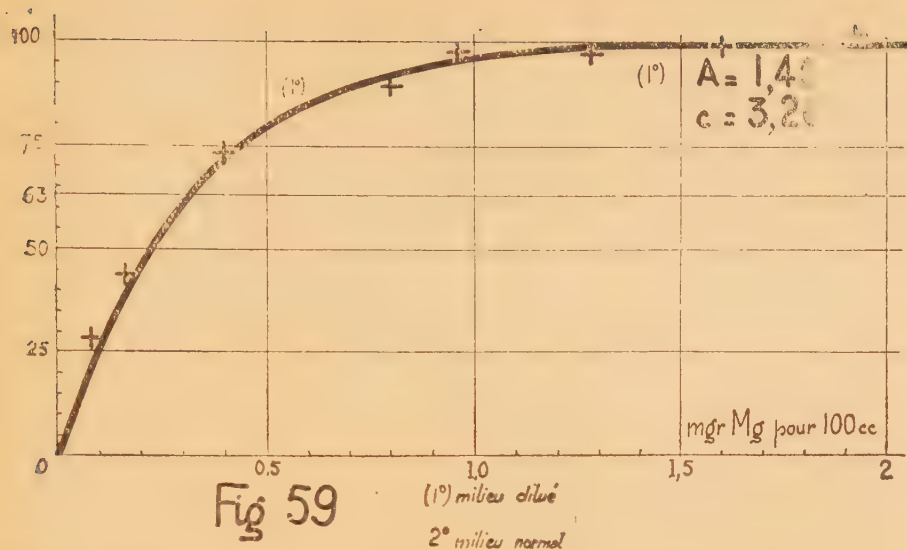
$$c = 3,26$$

$$x_c = 0,31$$

Comparons les valeurs obtenues pour A, c et x_c dans ces 2 séries de cultures.

La valeur du maximum passe à 90 % de sa valeur lorsqu'on diminue de moitié la teneur en azote du milieu.

La valeur du coefficient d'action du magnésium passe de 3,50 à 3,26, il diminue de 6,9 % de sa valeur.



CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,411	28,1	22,9	+ 23
0,16	0,627	43,2	40,6	+ 6,3
0,40	1,056	72,8	72,8	0
0,80	1,296	89,3	92,6	— 3,7
0,96	1,408	97,1	95,6	+ 1,6
1,28	1,413	97,4	98,5	— 1,1
1,60	1,433	98,8	99,5	— 0,7
1,92	1,471	101,4	99,9	+ 1,6

Conclusions : on peut admettre, d'après ces 2 expériences que la valeur du coefficient d'action du magnésium reste à peu près la même lorsqu'on diminue de moitié la teneur en $\text{NO}^3 \text{NH}^4$ du milieu. (Variation d'environ 7 %.)

Dans les 2 expériences ci-dessus, le milieu de culture offre au champignon, l'azote sous plusieurs formes différentes : 3 sels d'ammonium, le plus important en masse étant le nitrate.

Les moisissures se comportent différemment lorsqu'on les cultive sur un milieu contenant seulement des nitrates ou au contraire lorsqu'il n'y a dans le milieu que des sels d'ammonium, ou de l'azote organique, pour assurer la nutrition azotée de la plante. En particulier le rendement pondéral de la récolte est très différent. Il est plus élevé lorsque le milieu comporte des sels d'ammonium. Ce fait a été déjà signalé, en particulier par *M. Javillier* (39). La végétation est aussi beaucoup plus rapide. Il est possible que l'action du magnésium soit différente lorsque le champignon est cultivé sur des milieux différant par la nature de l'aliment azoté.

Une expérience préliminaire a confirmé cette hypothèse.

Cette expérience a été réalisée en milieu limité, c'est-à-dire en ballons de 250 cm³. La durée de l'expérience est de 62 heures à l'étuve à 34°.

Les milieux nutritifs ont été composés de la façon suivante : sauf le carbonate de magnésium et le nitrate d'ammonium, tous les constituants sont les mêmes que dans le liquide de Raulin. En outre, une série de ballons contient du nitrate de potassium : 7,35 gr. par litre.

L'autre série contient du succinate d'ammonium : 5 gr. 07 par litre.

Il a été ajouté en plus : à la 1^{re} série, 3 gr. 93 par litre d'acide succinique.

A la 2^e série, 5 gr. 87 par litre de chlorure de potassium, pour que les deux séries soient comparables (même teneur en acide succinique et en potassium).

Les deux séries de cultures sont ainsi effectuées sur des milieux identiques au point de vue de la teneur en azote, en acide succinique, et en potassium.

Il était indispensable notamment d'ajouter de l'acide succinique, pour que les deux cultures soient effectuées sur des milieux équivalents au point de vue de l'aliment carboné.

Du chlorure de magnésium est ajouté à chaque ballon en quantité variable. La moitié des cultures est effectuée sur un milieu fortement magnésié — la concentration en étant choisie pour permettre à la récolte d'atteindre son poids maximum.

L'autre moitié des cultures est effectuée sur un milieu partiellement carencé en magnésium, la dose de magnésium ajoutée, étant en

général 0,4 mgr. pour 100 cm³. Le poids de récolte est dans ces conditions très inférieur au poids de récolte maximum. On calcule quel pourcentage du maximum représente la récolte en milieu faiblement magnésié.

— Le pourcentage de l'optimum obtenu pour une faible dose de magnésium, varie dans de larges limites lorsque la source d'azote est constituée soit par du nitrate de potassium, soit par du succinate d'ammonium.

N° D'EXPÉRIENCE	CONCENTRATION DU MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC DE RÉCOLTE SUR MILIEU NITRIQUE	POIDS SEC DE RÉCOLTE SUR MILIEU AMMONIACAL
1	0,40 mgr. 1,90	1,814 = 81,8 % 2,218 = 100	2,342 = 71,9 % 3,259 = 100
2	0,40 1,90	1,973 = 86,4 % 2,284 = 100	2,402 = 70,9 % 3,390 = 100
3	0,40 1,90	2,496 = 97,8 % 2,552 = 100	2,565 = 64,6 % 3,970 = 100
4	0,333 2,67	0,617 = 67,1 % 0,918 = 100	0,888 = 54,6 % 1,625 = 100
5	0,333 2,67	1,104 = 62,6 % 1,619 = 100	3,326 = 56,6 % 5,888 = 100

Pour une concentration en magnésium égale à 0,4 mgr. pour 100 cm³ de liquide on obtient, sur milieu nitrique, des récoltes représentant : 82 %

86 %

98 % du maximum, soit en moyenne 88,7 %, les récoltes correspondantes sur milieu ammoniacal, représentant respectivement :

72 %

71 %

65 % du maximum, soit en moyenne 69,3 %.

Pour une concentration en magnésium égale à 0,333 mgr. pour 100 cm³ de liquide nutritif, on obtient, sur milieu nitrique, des récoltes représentant 67 % et 63 % de la récolte maximum (en moyenne 65 %), alors que les récoltes correspondantes effectuées sur milieu ammoniacal représentent respectivement 55 % et 57 %, soit en moyenne 56 % de la récolte maximum.

Pour une certaine concentration en magnésium, les poids de récolte obtenus sur un milieu ammoniacal, représentent toujours une fraction du poids maximum de récolte plus faible, que lorsque la culture est faite sur milieu nitrique.

Autrement dit pour obtenir un même pourcentage du maximum, il suffit d'une dose de magnésium plus faible lorsque la culture est faite sur milieu nitrique, que lorsqu'elle est faite sur milieu ammoniacal. Les 63 % du maximum, en particulier, sont obtenus avec une concentration en magnésium, plus basse, dans les cultures sur milieu nitrique. *Le coefficient d'action du magnésium qui est mesuré par l'inverse de la concentration qui permet d'obtenir cette récolte, est donc vraisemblablement plus grand lorsque l'azote est offert à la plante sous forme de nitrate de potassium* (voir plus loin pp. 127 à 129). (Rappelons que l'augmentation de la teneur en potassium du milieu n'affecte pas la valeur du coefficient d'action du magnésium, voir plus haut, pp. 113 et 114).

Lorsqu'on diminue la teneur en nitrate d'ammonium du milieu, le coefficient d'action du magnésium ne varie pas — mais étant donné que la valeur de ce coefficient dépend de la nature de la source d'azote qui lui est offerte, il est à prévoir que l'incidence des changements de concentration du milieu sera différente lorsque le milieu contiendra soit du nitrate de potassium, soit du chlorure d'ammonium.

Il nous a paru intéressant d'étudier en détail la valeur et les variations du coefficient d'action du magnésium dans ces deux hypothèses.

2. — L'azote est offert sous forme de NO^3K ou $\text{NH}^4 \text{Cl}$.

Les expériences ont été effectuées simultanément sur les deux milieux, l'un nitrique, l'autre ammoniacal — pour que les conditions expérimentales soient à coup sûr identiques, et que la comparaison puisse être faite de façon rigoureuse.

Quatre séries de ballons ont étéensemencées — le liquide privé de magnésium étant réparti à raison de 125 cm³ dans des ballons Pyrex de 250 cm³, on ajoute à chaque ballon des doses variables de magnésium — on stérilise — on sème avec des conidies d'*Aspergillus niger* — et après trois jours à l'étuve à 34°, on récolte et on pèse les mycéliums desséchés à 105°.

Composition des liquides de culture — les quatre séries de ballons contiennent pour 1 litre de liquide :

Glucose.....	50 gr.
Acide tartrique.....	2,67
$\text{CO}^3 \text{K}^2$	0,40

SO ⁴ Fe.....	0,047
SiO ³ K ²	0,047
SO ⁴ Mn, 4 H ²⁰	0,008
SO ⁴ Zn, 7 H ²⁰	0,005

En outre :

Liquides à teneur normale en azote,

Série 1	{	NO ³ K.....	7 gr. 35
		SO ⁴ K ²	0,220
		PO ⁴ H ² K.....	0,473
Série 2	{	NH ⁴ Cl.....	3 gr. 57
		SO ⁴ (NH ⁴) ²	0,17
		PO ⁴ H ² NH ⁴	0,40

* Liquides à teneur réduite en azote,

Série 3	{	NO ³ K.....	3 gr. 67
		SO ⁴ K ²	0,110
		PO ⁴ H ² K.....	0,236
Série 4	{	NH ⁴ Cl.....	1 gr. 785
		SO ⁴ (NH ⁴) ²	0,085
		PO ⁴ H ² NH ⁴	0,20

Les liquides nitriques contiennent une dose importante de potassium, 1,54 gr. par litre. Mais il a été vérifié (voir plus haut, pp. 113 et 114) que l'addition de potassium au liquide de culture n'affecte pas la valeur du coefficient d'action du magnésium.

1. — Cultures sur milieu nitrique (fig. 60) :

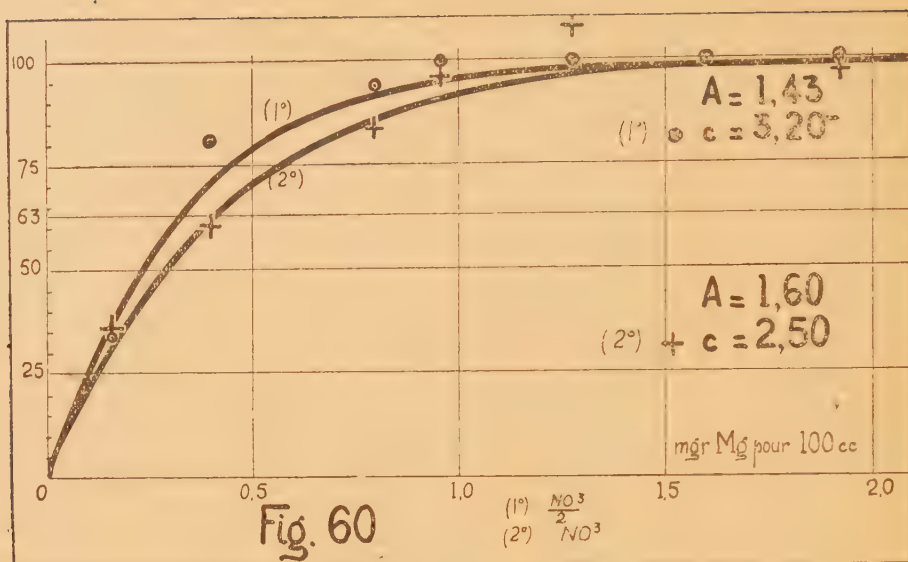
a) L'expérience témoin sur milieu à teneur normale en azote a donné les résultats suivants :

$$A = 1,60$$

$$c = 2,50$$

$$x_c = 0,40$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC	POIDS POUR A = 100 A = 1,60	POIDS CALCULÉ POUR c = 2,50	ERREUR %
0,16	0,569	35,6	33,0	+ 7,8
0,40	0,978	61,1	63,2	— 3,3
0,80	1,337	83,6	86,4	— 3,3
0,96	1,538	96,1	90,9	+ 7,0
1,28	1,726	107,9	95,9	+ 13,5
1,60	1,598	99,9	98,2	+ 1,7
1,92	1,548	97,4	99,2	— 1,8



b) L'expérience sur milieu où la concentration en azote est réduite de moitié a donné les résultats suivants :

$$A = 1,43$$

$$c = 3,20$$

$$x_c = 0,31$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100 (A = 1,43)	POIDS CALCULÉ POUR c = 3,20	ERREUR %
0,16	0,480	33,7	40,1	— 16,0
0,40	1,172	81,2	72,1	+ 12,6
0,80	1,345	94,0	92,2	+ 2,0
0,96	1,427	99,8	95,4	+ 4,6
1,28	1,430	100	98,3	+ 1,7
1,60	1,420	99,6	99,4	+ 0,2
1,92	1,446	101,1	99,8	+ 1,3

Comparons les valeurs obtenues pour A, c et x_c dans ces deux séries de cultures. La valeur des maxima est très voisine. — Sur le milieu où l'azote, fourni sous forme de nitrate, est diminué de moitié, on obtient un poids de récolte maximum représentant 89 % de la valeur du poids de récolte maximum obtenu sur milieu normal. Ce résultat est très analogue à celui qu'on obtient lorsque le milieu renferme l'azote sous forme de $NO_3 NH_4$ (voir p. 111 à 116).

La valeur du coefficient c obtenu sur milieu pauvre en azote est de 3,20 alors qu'on obtenait un coefficient c égal à 2,5 sur milieu normal.

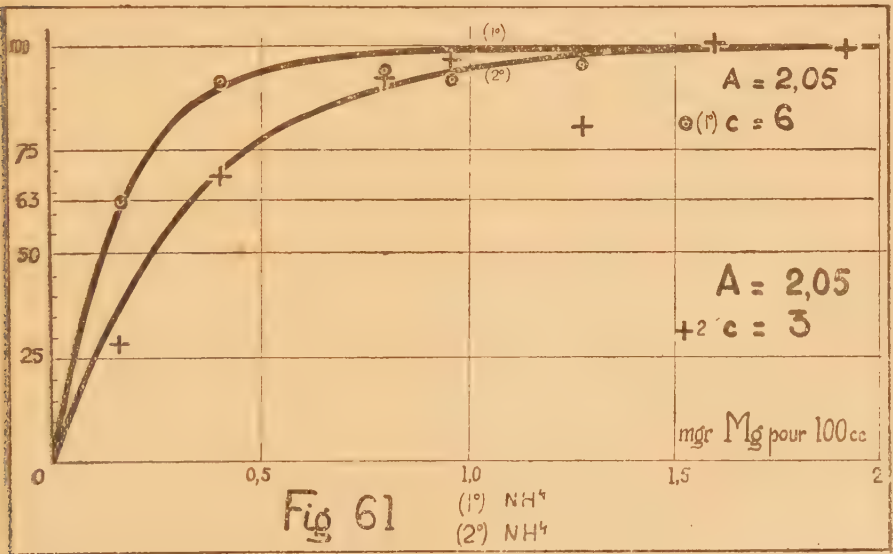
C'est-à-dire que la valeur du coefficient c représente 128 % de la valeur qu'il a en milieu normal.

2. — Cultures sur milieu ammoniacal (fig. 61) :

a) L'expérience témoin sur milieu à teneur normale en azote a donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned} A &= 2,05 \\ c &= 3 \\ x_c &= 0,33 \end{aligned}$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100 (A = 2,05)	POIDS CALCULÉ POUR c = 3	ERREUR %
0,16	0,585	28,5	38,1	— 25,2
0,40	1,420	69,2	69,9	— 1
0,80	1,899	92,6	90,9	+ 3,0
0,96	1,984	97,0	94,4	+ 2,8
1,28	1,654	80,7	97,8	— 17,1
1,60	2,069	100,9	99,2	+ 1,7
1,92	2,052	100,0	99,7	+ 0,3



b) L'expérience sur le milieu dont la teneur en azote est réduite de moitié a donné les résultats suivants :

$$A = 2,05$$

$$c = 6$$

$$x_c = 0,16$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100 (A = 2,05)	POIDS CALCULÉ POUR c = 6	ERREUR %
0,16	1,281	62,1	61,7	+ 0,6
0,40	1,876	91,1	90,9	+ 0,2
0,80	1,929	93,6	99,2	— 5,6
0,96	1,902	92,3	99,7	— 7,4
1,28	1,978	96,0	100	— 4,0
1,60	2,063	100,0	100	
1,92	2,062	100,0	100	

Comparons les résultats obtenus pour A, c et x_c dans ces deux séries de cultures. Les valeurs du poids maximum de récolte sont identiques dans les 2 cas.

La valeur du coefficient c est multipliée par 2 lorsque la teneur du milieu en azote ammoniacal est diminuée de moitié.

Ce résultat est très différent de ceux que nous avons obtenus lorsque le milieu contient $\text{NO}^3 \text{NH}^4$ ou $\text{NO}^3 \text{K}$.

Il a été confirmé par une 2^e expérience.

Expérience n^o 2.

1. — Cultures sur milieu nitrique (fig. 62).

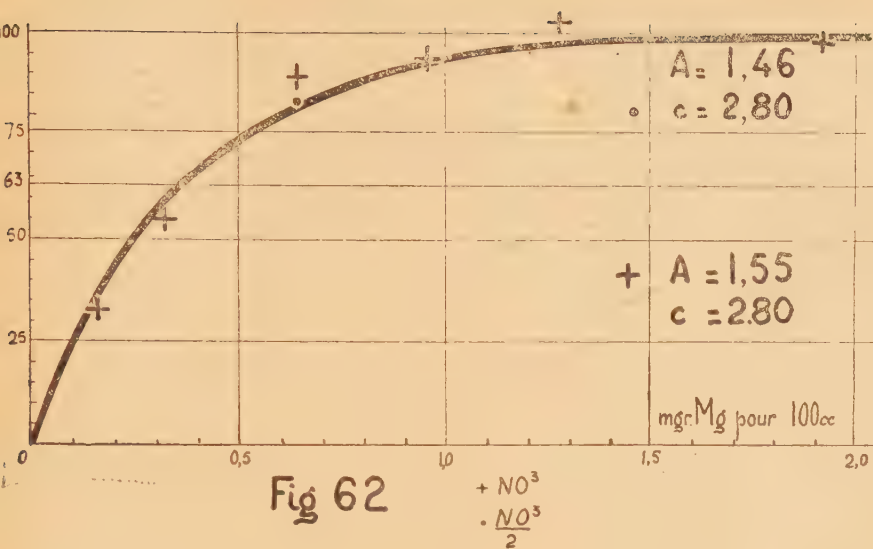
a) L'expérience témoin sur milieu à teneur normale en azote a donné les résultats suivants :

$$A = 1,55$$

$$c = 2,80$$

$$x_c = 0,36$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100 (A = 1,55)	POIDS CALCULÉ POUR c = 2,80	ERREUR %
0,16	0,505	32,6	36,1	— 10
0,32	0,842	54,3	59,1	— 8,1
0,64	1,377	88,8	83,3	+ 6,6
0,96	1,461	93,6	93,2	+ 0,5
1,28	1,595	102,9	97,2	+ 5,7
1,92	1,534	99,0	99,2	— 0,2



b) L'expérience sur milieu dilué a donné les résultats suivants :

$$A = 1,46$$

$$c = 2,80$$

$$x_c = 0,36$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ POUR c = 2,80	ERREUR %
0,16	0,461	31,3	36,1	— 13,3
0,32	0,781	53,5	59,1	— 9,5
0,64	1,237	84,6	83,3	+ 1,6
0,96	1,369	93,8	93,2	+ 0,7
1,28	1,481	101,4	97,2	+ 4,2
1,92	1,451	99,3	99,2	+ 0,1

Comparons les résultats obtenus pour A, c et x_c dans ces deux séries de cultures.

Le maximum de récolte passe à 94 % de sa valeur quand on diminue la teneur en azote du milieu.

Le coefficient c conserve la même valeur.

2. — Cultures sur milieu ammoniacal (fig. 63).

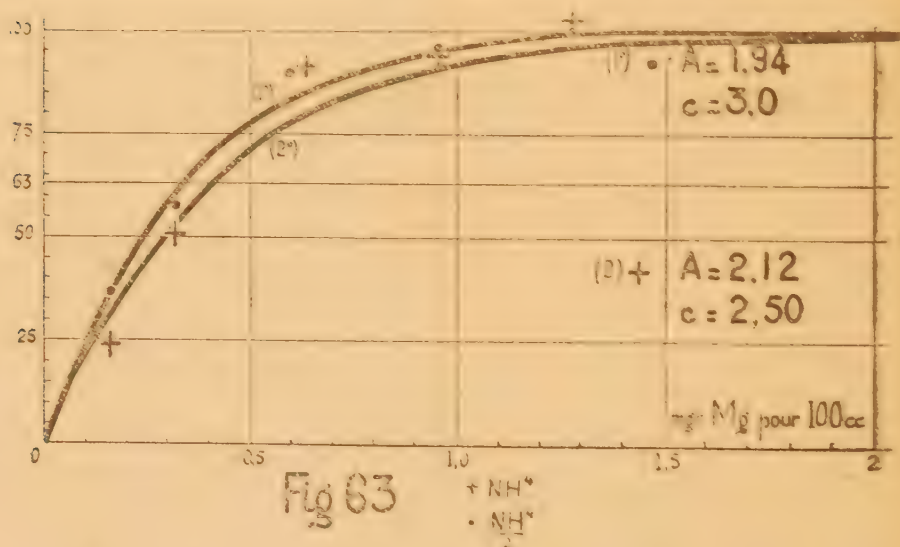
a) L'expérience témoin sur milieu à teneur normale en azote a donné les résultats suivants :

$$A = 2,12$$

$$c = 2,50$$

$$x_c = 0,40$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ POUR c = 2,50	ERREUR %
0,16	0,504	23,8	33,0	— 27,6
0,32	1,072	50,6	55,0	— 8,0
0,64	1,933	91,2	79,8	+ 14,2
0,96	1,980	93,4	90,9	+ 4,0
1,28	2,163	102,0	95,9	+ 6,3
1,92	2,094	98,8	99,2	— 0,4



b) L'expérience, sur milieu où l'azote est en quantité deux fois moindre que dans le milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 1,94$$

$$c = 3$$

$$x_c = 0,33$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ POUR c = 3	ERREUR %
0,16	0,707	36,6	38,1	— 3,9
0,32	1,122	57,9	61,7	— 6,1
0,64	1,739	89,6	85,3	+ 5,0
0,96	1,844	95,0	94,5	+ 0,7
1,28	1,941	100,0	97,8	+ 2,2
1,92	1,942	100,1	99,7	+ 0,4

Comparons les résultats obtenus pour A, c et x_c dans ces deux séries d'expériences. Le poids maximum de récolte passe à 91,5 % de sa valeur quand la teneur en azote du milieu diminue de moitié — et le coefficient c passe à 120 % de sa valeur.

Voici en résumé, les résultats obtenus dans ces deux expériences :

	MILIEU NITRIQUE		MILIEU AMMONIACAL	
	TENEUR EN AZOTE		TENEUR EN AZOTE	
	NORMALE	RÉDUITE DE MOITIÉ	NORMALE	RÉDUITE DE MOITIÉ
Valeur de A...	1,60	1,43 89 %	2,05	2,05 100 %
Valeur de c....	2,50	3,20 128 %	3	6 200 %
Valeur de A...	1,55	1,46 94 %	2,12	1,94 91,5 %
Valeur de c....	2,80	2,80 100 %	2,50	3 120 %

L'augmentation de la valeur du coefficient c est très variable d'une expérience à l'autre. Ce fait est dû probablement à la souche d'*Aspergillus niger* employée qui a varié d'une expérience à l'autre. Mais on peut dire — bien que ces expériences puissent apparaître comme un peu restreintes — que l'augmentation de valeur du coefficient c, lorsqu'on diminue de moitié la teneur en azote du milieu, est : nulle ou très faible lorsque l'azote est sous forme de $\text{NO}^3 \text{K}$ — net-

tement plus importante lorsque l'azote est offert sous forme de $\text{NH}^4 \text{Cl}$.

Nous avons effectué d'autres expériences conçues de façon identique dont nous ne donnerons pas ici les résultats car le nombre des points de chaque courbe était trop faible. Les résultats obtenus étaient absolument conformes à ceux que nous venons d'exposer.

Conclusion. — Nous pouvons donc affirmer que le coefficient d'action du magnésium se trouve modifié de façon sensible par la diminution de la teneur en azote du milieu nutritif, *quand l'azote est introduit sous forme uniquement ammoniacale*. Il ne l'est pas ou l'est à peine lorsque l'azote y est introduit sous forme de nitrate, même de nitrate d'ammonium.

C'est-à-dire que, dans un milieu nutritif où la source azotée est constituée par du $\text{NH}^4 \text{Cl}$, la concentration en magnésium nécessaire pour récolter un certain pourcentage de la récolte maximum, sera d'autant plus élevée que la teneur en $\text{NH}^4 \text{Cl}$ du milieu sera plus élevée. Le coefficient d'action du magnésium, représenté par l'inverse de la concentration permettant d'obtenir 63 % de la récolte maximum sera d'autant plus élevé que la teneur en $\text{NH}^4 \text{Cl}$ du milieu sera moindre.

Au contraire, lorsque l'azote se trouve dans le milieu soit entièrement, soit partiellement sous forme de nitrate, la concentration en magnésium nécessaire pour obtenir 63 % de la récolte maximum varie très peu avec la teneur en azote du milieu.

Lorsqu'on oblige un végétal à se développer sur un milieu qui ne comporte pas de sels oxygénés, la seule source d'oxygène est évidemment l'oxygène libre de l'atmosphère.

Le milieu normal de Raulin comporte du nitrate d'ammonium 2,67 gr. par litre, du sulfate d'ammonium 0,17 gr. par litre, du phosphate monobasique d'ammonium 0,40 gr. par litre.

Le mycélium qui s'élabore sur ce milieu, trouve dans ces trois sels une source d'oxygène combiné. La plus importante est le nitrate d'ammonium à un double point de vue.

1. Il se trouve dans le milieu en quantité considérable par rapport aux autres sels.

2. La réduction des nitrates conduit aux nitrites, à l'hydroxylamine et aux acides aminés, alors qu'il est difficile d'imaginer l'utilisation de l'oxygène qui proviendrait de la réduction des phosphates et des sulfates du milieu.

Nous constatons les faits suivants :
le coefficient d'action du magnésium n'est pas sensiblement affecté par la modification de la teneur en azote nitrique du milieu nutritif.

Au contraire son importance relative change lorsque varie la teneur en azote ammoniacal du milieu de culture.

Dans le premier cas, le milieu nutritif comporte une source importante d'oxygène combiné.

Dans le deuxième cas, l'azote étant uniquement sous forme ammoniacale, les cellules du mycélium n'ont à leur disposition que l'oxygène moléculaire de l'atmosphère.

Et, dans ce cas, il se produit une modification sensible de la puissance d'action de l'unité de masse de magnésium, lorsqu'on fait varier la teneur en azote du milieu.

Il n'est pas probable que ce soit à cause de la diminution de la teneur en azote, puisque le même fait, se reproduisant dans le premier cas, n'entraîne aucune modification sensible de l'action du magnésium. On est donc conduit à penser que la différence provient surtout de la nature des sources d'oxygène offertes aux cellules ; et à en conclure naturellement que le magnésium joue un rôle dans l'utilisation de l'oxygène atmosphérique.

CHAPITRE VIII

Variation du coefficient d'action du magnésium avec la teneur en phosphore du milieu

Les expériences sont faites dans des ballons Pyrex de 250 cm³, contenant 125 cm³ de liquide de culture, auquel le magnésium est ajouté sous forme d'une solution titrée de SO⁴ Mg.

Le phosphore est offert au champignon, suivant les expériences, soit sous forme de PO⁴ H² NH⁴, soit sous forme de PO⁴ H² K.

Dans le 1^{er} cas, la variation de la teneur en PO⁴ H² NH⁴ du milieu, qui varie au maximum entre 0,1 à 0,6 gr. par litre, entraîne une faible variation de la teneur en azote du milieu. En effet, 0 gr. 5 de PO⁴ H² NH⁴ représentent $\frac{0,5 \times 14}{115} = 0, \text{gr. } 06$ d'azote. Un litre de liquide contenant 1,02 gr. d'azote dans les conditions ordinaires, la variation qu'entraîne l'addition ou la suppression de PO⁴ H² NH⁴ ne représente que $\frac{0,06}{1,02} = 6\%$ environ de la teneur en azote. Nous avons d'ailleurs vu, au chapitre précédent, que lorsque l'azote se trouve dans le milieu, sous forme de NO³ NH⁴, la teneur en azote du milieu n'influe pas sur la valeur du coefficient d'action du magnésium.

Voici les résultats de quelques expériences.

1. — Le phosphore est offert sous forme de PO⁴ H² NH⁴.

Le milieu de Raulin contient 0,4 gr. de PO⁴ H² NH⁴ par litre soit 10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³. Les cultures sont effectuées parallèlement sur un milieu normal, et sur un milieu contenant seule-

ment la moitié de la dose habituelle de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$, soit 0,2 gr. par litre, représentant 5,4 mgr. de phosphore pour 100 cm^3 .

Les résultats sont les suivants :

1^{re} SÉRIE D'ESSAIS (fig. 64).

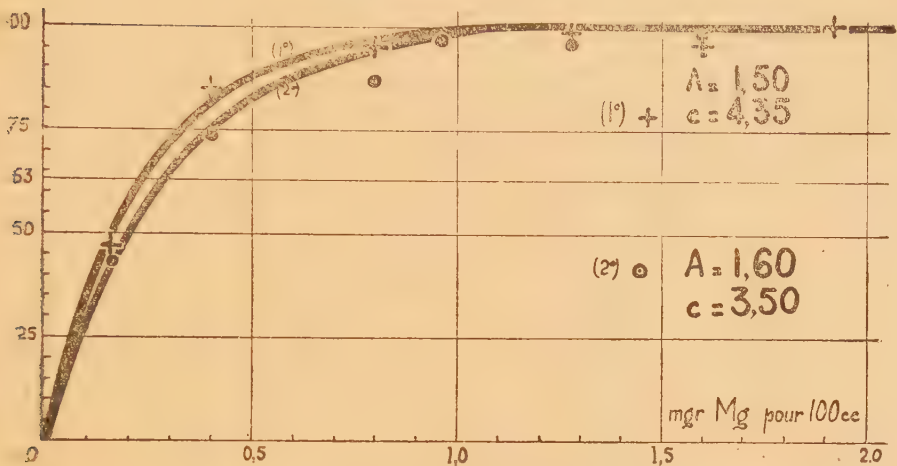


Fig 64

+ milieu à teneur en phosphore réduite à $\frac{1}{2}$
o milieu normal.

L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 1,50$$

$$c = 3,50$$

$$x_c = 0,29$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 cm^3	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR $A = 100$	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,438	27,4	24,5	+ 12,0
0,16	0,691	43,2	42,9	+ 0,7
0,40	1,187	74,2	75,4	— 1,6
0,80	1,391	86,9	93,9	— 7,4
0,96	1,571	98,2	96,6	+ 1,8
1,28	1,536	96,0	98,9	— 2,9
1,60	1,591	99,4	99,6	— 0,2
1,92	1,628	101,7	99,9	+ 1,8

L'expérience sur milieu à faible teneur en phosphore a donné les résultats suivants :

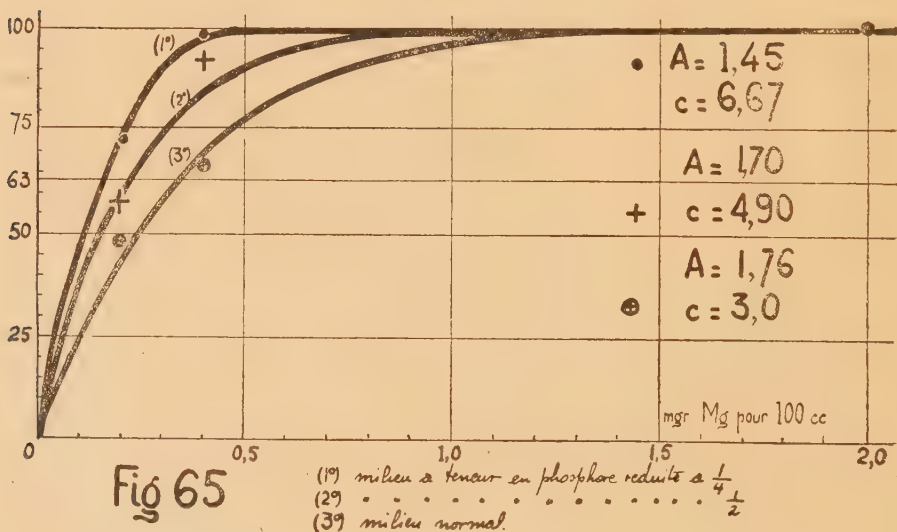
$$A = 1,50$$

$$c = 4,35$$

$$x_c = 0,23$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,415	27,6	29,4	— 6,0
0,16	0,696	46,4	50,1	— 7,4
0,40	1,272	84,8	82,4	+ 2,9
0,80	1,428	95,2	96,9	— 1,7
0,96	1,483	98,2	98,5	— 0,3
1,28	1,494	99,6	99,6	0
1,60	1,409	96,0	99,9	— 3,9
1,92	1,502	100,1	100	+ 0,1

Nous avons voulu étudier plus profondément les variations du coefficient d'action du magnésium apportées par la diminution de la



teneur en phosphore du milieu et dans les expériences qui vont suivre, nous ferons varier plus largement la teneur en phosphore des milieux de culture ; nous étudierons parallèlement :

1° Un milieu témoin normal contenant 10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³.

2° Un milieu contenant seulement la moitié de la quantité de phosphore normale, soit 5,4 mgr. de phosphore pour 100 cm³, sous forme de 0,2 gr. de PO⁴ H² NH⁴ par litre.

3° Un milieu contenant le quart de la quantité de phosphore normale, 2,7 mgr. de phosphore pour 100 cm³, c'est-à-dire 0 gr. 1 de PO⁴ H² NH⁴ par litre.

2^e SÉRIE D'ESSAIS (fig. 65).

L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 1,76$$

$$c = 3,0$$

$$x_c = 0,33$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ POUR c = 3	ERREUR %
0,2	0,851	48	45	+ 7
0,4	1,163	66	70	— 6
2	1,764	100	100	0

L'expérience faite sur un milieu à teneur moitié moindre en phosphore a donné les résultats suivants :

$$A = 1,70$$

$$c = 4,90$$

$$x_c = 0,21$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ POUR c = 4,2	ERREUR %
0,2	0,989	58	61,5	— 6
0,4	1,155	92	85	+ 8
2	1,697	100	100	0

L'expérience témoin sur milieu normal a donné les résultats suivants :

$$A = 2,40$$

$$c = 2,80$$

$$x_c = 0,35$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,641	26,7	36,1	— 26,1
0,32	1,299	54,1	59,1	— 8,3
0,64	2,199	91,6	83,3	+ 10,0
0,80	2,322	96,7	89,3	+ 8,2
0,96	2,382	99,2	93,2	+ 6,4
1,28	2,336	97,3	93,3	+ 4,3
1,60	2,254	93,9	98,9	— 5

L'expérience sur milieu à teneur 2 fois moindre en phosphore, a donné les résultats suivants :

$$A = 2,0$$

$$c = 5,0$$

$$x_c = 0,2$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,275	13,7	33,0	
0,16	0,926	46,3	55,0	— 16,0
0,32	1,683	84,1	79,8	+ 5,4
0,40	2,005	100,2	86,5	+ 4,3
0,64	1,936	96,8	95,9	+ 0,9
0,80	1,969	98,4	98,2	+ 0,2
1,28	2,024	101,2	99,8	+ 1,4
1,60	2,015	100,7	100	+ 0,7

L'expérience sur milieu à teneur 4 fois moindre en phosphore a donné les résultats suivants :

$$A = 1,55$$

$$c = 6,5$$

$$x_c = 0,16$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,08	0,575	37,1	40,5	— 8,5
0,16	0,896	57,7	64,6	— 10,6
0,32	1,522	97,7	87,5	+ 11,7
0,40	1,571	101,3	92,6	+ 9,7
0,64	1,478	95,3	98,5	— 3,2
0,80	1,542	99,5	99,4	+ 0,1
1,28	1,487	96,0	99,95	— 4,0
1,60	1,568	101,1	100	+ 1,1

4^e SÉRIE D'ESSAIS (fig. 67).

Les milieux étudiés dans cette série d'essais contiennent les doses suivantes de phosphore :

1 ^o (milieu normal) :	PO ⁴ H ² K,	0 gr. 4 par litre	—	P = 10,8 mgr.
2 ^o	—	0 gr. 2	—	5,4 mgr.
3 ^o	—	0 gr. 1	—	2,7 mgr.
4 ^o	—	0 gr. 6	—	16,2 mgr.

pour 100 cm³.

L'expérience témoin sur milieu normal, a donné les résultats suivants (fig. 67-3^o) :

$$A = 1,95$$

$$c = 1,80$$

$$x_c = 0,55$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,49	24,5	25,6	— 4,4
0,32	0,854	43,7	44,7	— 2,2
0,40	0,961	49,3	52,3	— 5,8
0,64	1,335	68,5	69,4	— 1,3
0,96	1,692	83,1	83,1	0
1,28	1,768	90,7	90,6	+ 0,1
1,92	1,956	100,3	97,1	+ 3,2

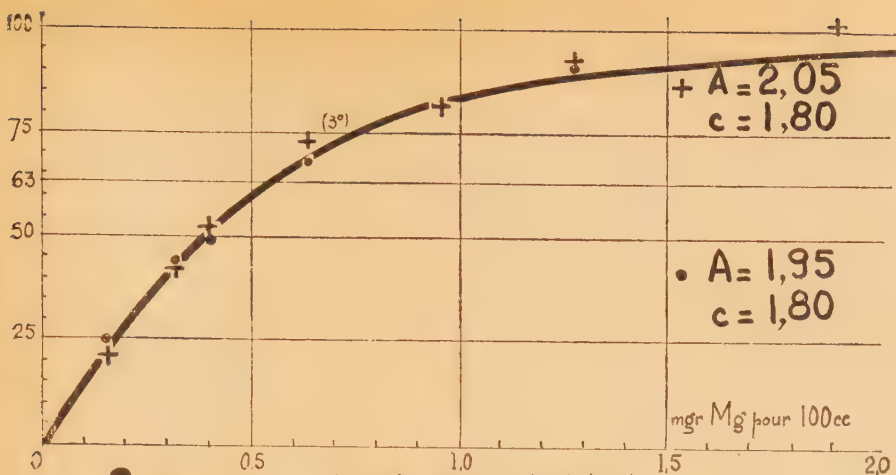
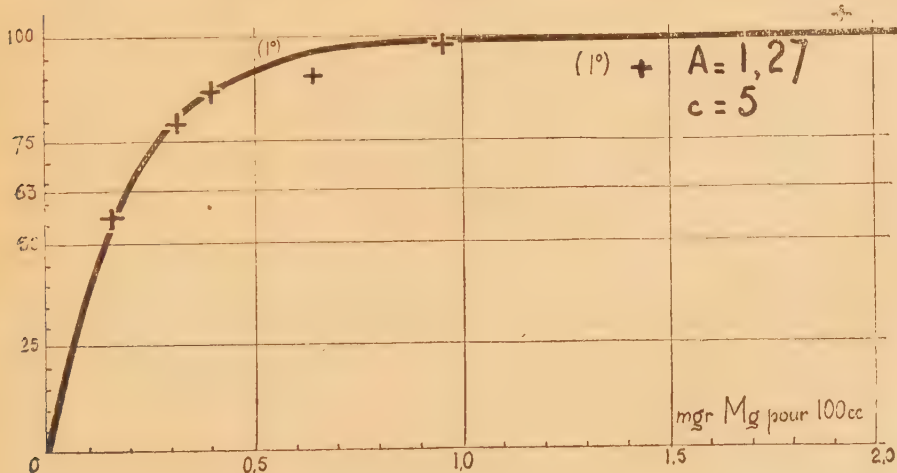
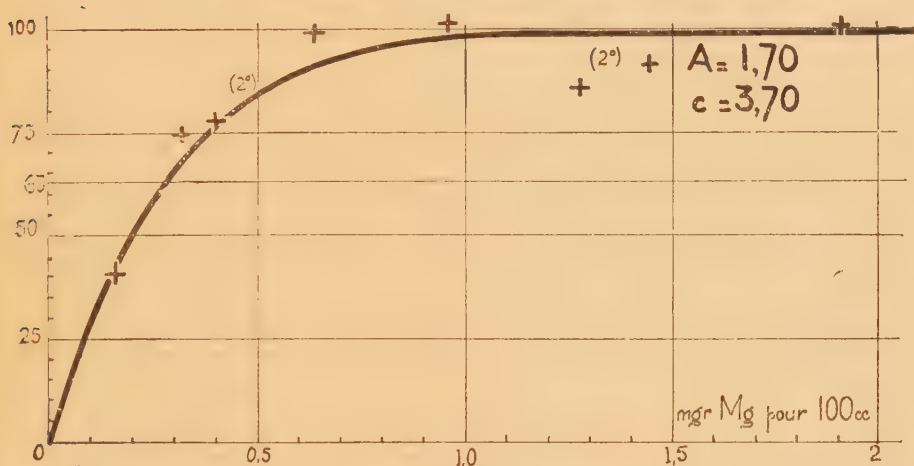


Fig. 67

(1°) milieu à teneur en P réduite à $\frac{1}{4}$
 (2°) milieu à teneur en P réduite à $\frac{1}{2}$
 (3°) milieu normal et milieu contenant 16,2 mgr. P pour 100 cc



L'expérience effectuée sur le milieu contenant 5,4 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 67 - 2°):

$$A = 1,70$$

$$c = 3,70$$

$$x_c = 0,30$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,708	41,6	44,6	— 6,7
0,32	1,270	74,7	69,4	+ 7,9
0,40	1,318	77,5	77,5	+ 0,4
0,64	1,681	98,9	90,6	+ 9,1
0,96	1,722	101,2	97,1	+ 4,2
1,28	1,605	85,3	99,1	— 13,8
1,92	1,710	100,6	99,7	+ 0,9

L'expérience effectuée sur le milieu contenant 2,7 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 67 - 1°) :

$$A = 1,27$$

$$c = 5$$

$$x_c = 0,2$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,695	54,7	55,0	— 0,6
0,32	1,004	79,0	79,8	— 1,0
0,40	1,098	86,3	86,5	— 0,2
0,64	1,147	90,3	95,9	— 5,7
0,96	1,246	98,1	99,2	— 0,9
1,28	1,258	99,8	99,8	0
1,92	1,313	103,4	100	+ 3,4

Enfin l'expérience effectuée sur le milieu contenant 16,2 mgr. de phosphore pour 100 cm³, a donné les résultats suivants (fig. 67 - 3°) :

$$A = 2,06$$

$$c = 1,80$$

$$x_c = 0,55$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,16	0,420	20,8	25,6	— 23
0,32	0,854	41,7	44,7	— 6,6
0,40	1,052	52,1	52,3	— 0,4
0,64	1,485	72,5	69,4	+ 4,4
0,96	1,667	81,3	83,1	— 2,2
1,08	1,888	92,1	90,6	+ 1,7
1,92	2,057	100,3	97,1	+ 3,2

2. — Le phosphore est offert sous la forme de PO⁴ H² K.

Les résultats obtenus en offrant le phosphore au champignon sous forme de phosphate monopotassique, sont très comparables à ceux qui viennent d'être décrits plus haut. Il faut seulement signaler à nouveau (voir page 48) que l'*Aspergillus* semble se développer beaucoup moins bien en présence de PO⁴ H² K. Les poids maxima de récolte sont toujours plus faibles, toutes choses égales d'ailleurs, que sur un milieu contenant PO⁴ H² NH⁴ et ces maxima diffèrent peu entre eux, quelle que soit la teneur du liquide en phosphore. L'apparition des conidies se produit pour des doses beaucoup plus faibles de magnésium, et sur des mycéliums mous et visqueux, très différents en apparence des mycéliums atteignant le stade de la fructification normale.

1^{re} SÉRIE D'ESSAIS (fig. 68).

L'expérience témoin sur milieu normal contenant 10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 68 - 2°) :

$$A = 1,10 \text{ gr.}$$

$$c = 3,85$$

$$x_c = 0,26$$

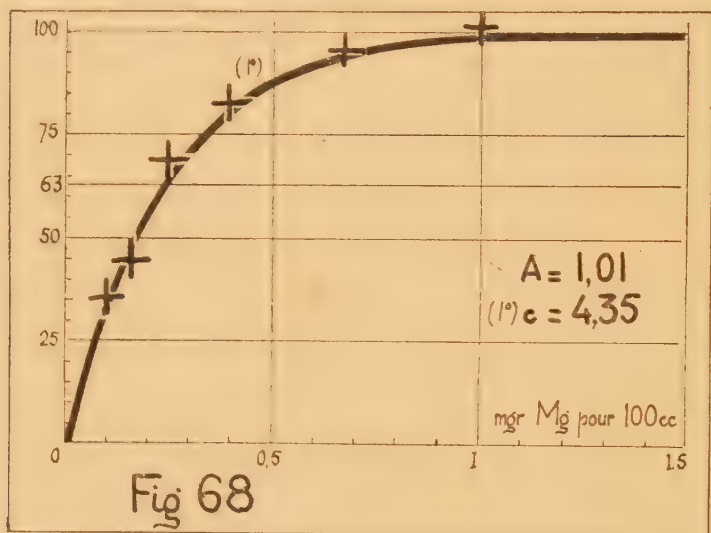
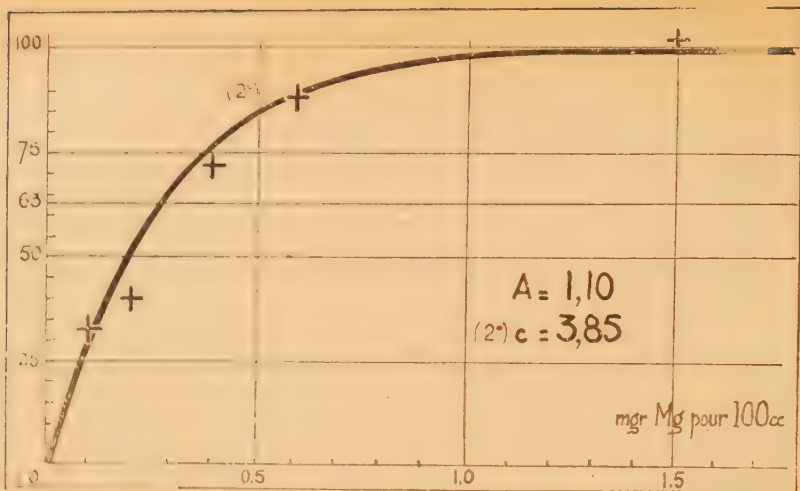
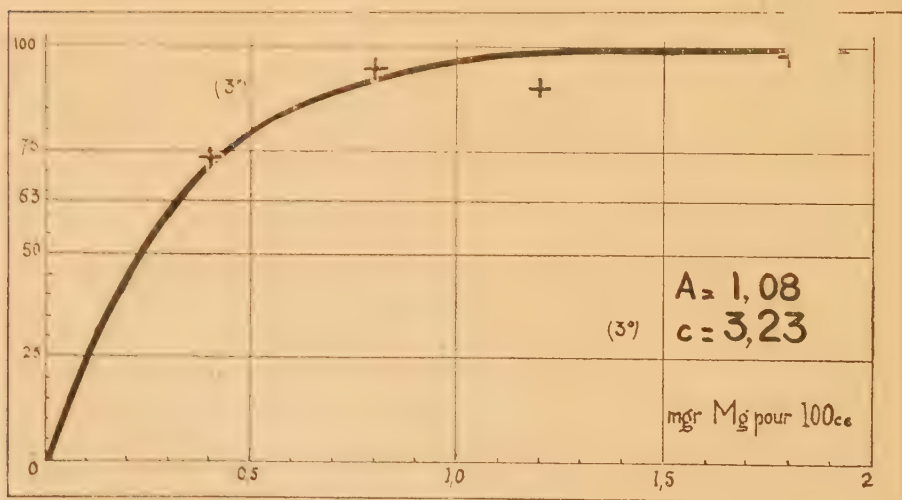


Fig 68



CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,10	0,367	33,0	32,0	+ 3,1
0,20	0,447	40,3	53,7	— 33,5
0,40	0,798	72,0	78,5	— 8,3
0,60	0,927	89,8	90,1	— 0,4
1,50	1,126	101,4	94,4	+ 7,5
2,50	1,105	99,6	100	— 0,4

L'expérience sur milieu contenant 5,4 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 68 - 4°) :

$$A = 1,01$$

$$c = 4,35$$

$$x_c = 0,23$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,10	0,351	35,1	35,3	+ 0,6
0,45	0,451	45,1	47,9	— 5,8
0,25	0,691	69,1	66,3	+ 4,2
0,40	0,833	83,3	82,5	+ 1,3
0,70	0,964	96,4	95,2	+ 1,2
1,0	1,011	101,1	100	+ 1,1

L'expérience effectuée sur un milieu contenant 21,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 68 - 3°) :

$$A = 1,08$$

$$c = 3,23$$

$$x_c = 0,31$$

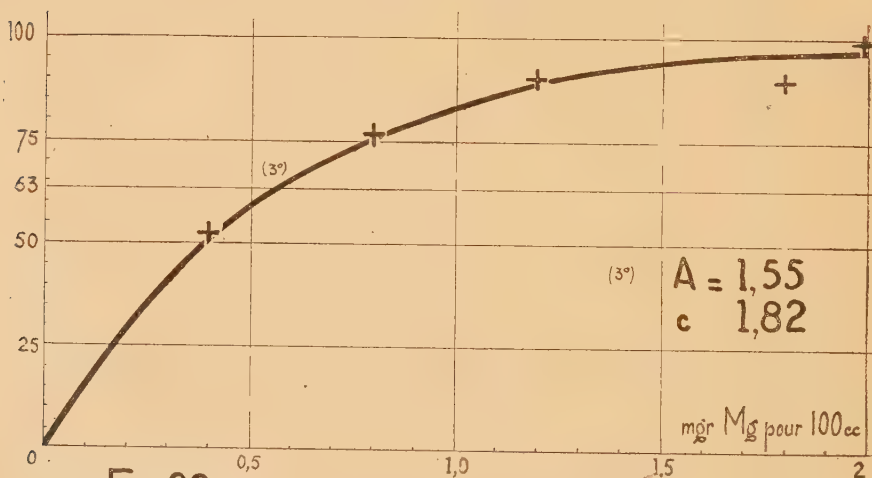
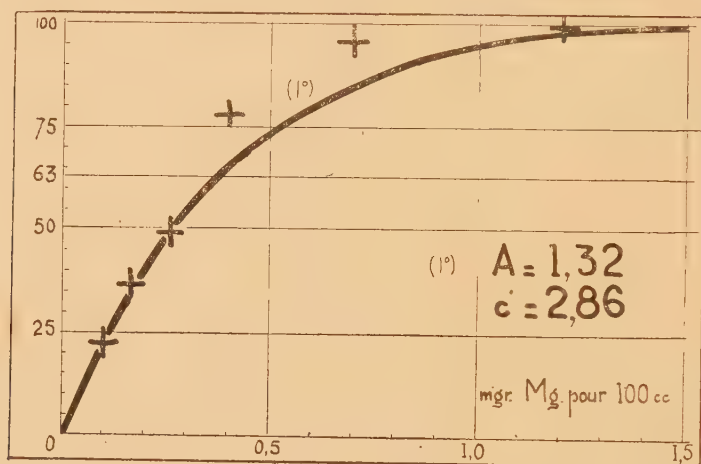
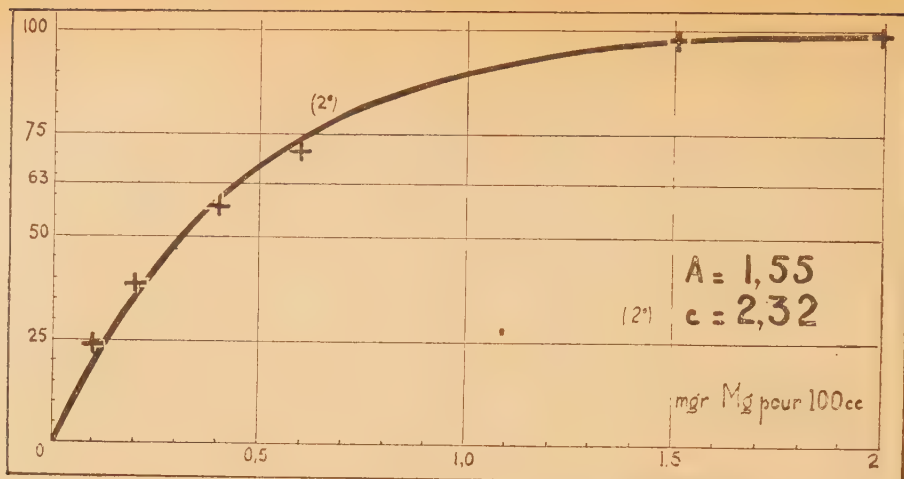


Fig 69

(1°) teneur en phosphore réduite à $\frac{1}{2}$

(2°) milieu normale.

(3°) teneur en phosphore double de la normale

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,40	0,787	73,0	72,8	+ 0,3
0,80	1,022	94,6	92,6	+ 2,2
1,20	0,970	89,8	98,0	— 9,1
1,80	1,054	97,6	99,7	— 2,1
2,50	1,086	100,6	100	+ 0,6
4,0	1,070	99,1	100	— 0,9

2^e SÉRIE D'ESSAIS (fig. 69), identique à la précédente.

Les milieux de culture contiennent respectivement :

10,8

5,4

et 21,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³.

L'expérience témoin, sur milieu normal (contenant 10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³) a donné les résultats suivants (fig. 69-2^o) :

A = 1,55

c = 2,32

x_c = 0,43

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,10	0,355	22,9	20,5	+ 12
0,20	0,599	38,6	36,7	+ 5,5
0,40	0,872	57,5	59,6	— 3,5
0,60	1,095	70,6	74,7	— 5,5
1,50	1,520	98,1	96,8	+ 1,5
2,5	1,551	100	99,7	+ 0,3

L'expérience faite sur un milieu contenant 5,4 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 69-1^o) :

A = 1,32

c = 2,86

x_c = 0,35

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,10	0,312	23,6	24,8	— 4,8
0,15	0,428	32,4	34,8	— 7,2
0,25	0,655	49,6	51,0	— 2,5
0,40	1,027	77,8	68,1	+ 14,2
0,70	1,268	96,1	86,5	+ 11,1
1,20	1,323	100	96,8	+ 3,2

L'expérience faite sur un milieu contenant 21,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³, a donné les résultats suivants (fig. 69-3°) :

$$A = 1,55$$

$$c = 1,82$$

$$x_c = 0,55$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,40	0,810	52,3	52,3	0
0,80	1,185	76,5	77,2	1,0
1,20	1,368	89,5	89,1	+ 0,5
1,80	1,368	89,5	96,4	— 7,1
2,0	1,529	98,6	99,0	— 0,4
3,0	1,652	106,7	100	+ 6,7

3^e SÉRIE D'ESSAIS (fig. 70).

Les cultures sont faites sur des milieux contenant respectivement

10,8

2,7

5,4

8,1

21,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³.

Expérience témoin sur milieu normal (10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³). Les résultats sont les suivants (fig. 70-4°) :

$$A = 1,90$$

$$c = 2,0$$

$$x_c = 0,50$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,20	0,631	33,2	33,1	+ 0,3
0,40	1,096	57,7	55,3	+ 4,5
0,60	1,307	64,1	70,0	— 8,4
0,80	1,543	81,2	80,0	+ 1,5
1,20	1,942	102,2	91,1	+ 12,2
1,50	1,931	101,6	95,1	+ 6,7

L'expérience faite sur un milieu contenant 2,7 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 70 - 1°) :

$$A = 1,60 \text{ gr.}$$

$$c = 3,33$$

$$x_c = 0,30$$

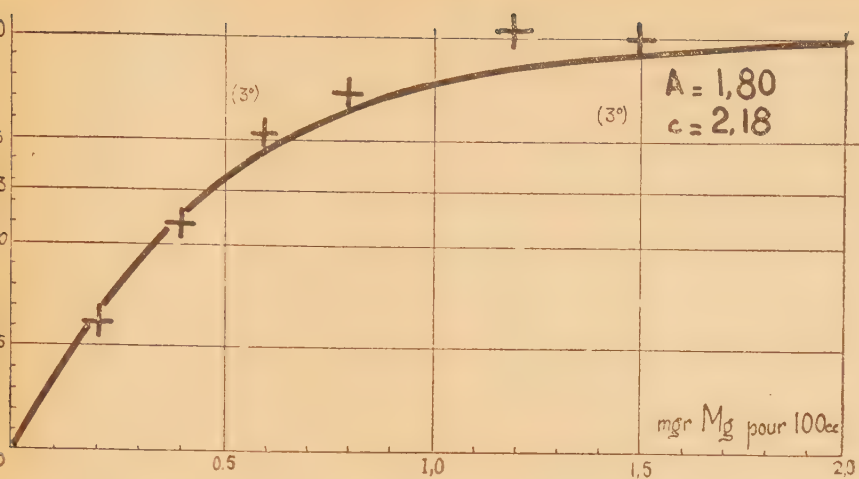
CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,05	0,174	10,9	15,3	— 7,4
0,10	0,420	26,2	28,3	+ 14,0
0,20	0,887	55,4	48,6	+ 26,8
0,40	1,453	90,9	71,7	— 10,8
0,80	1,329	83,0	93,0	+ 2,5
1,20	1,612	100,8	98,2	

L'expérience faite sur un milieu contenant 5,4 mgr. de phosphore pour 100 cm³, a donné les résultats suivants (fig. 70 - 2°) :

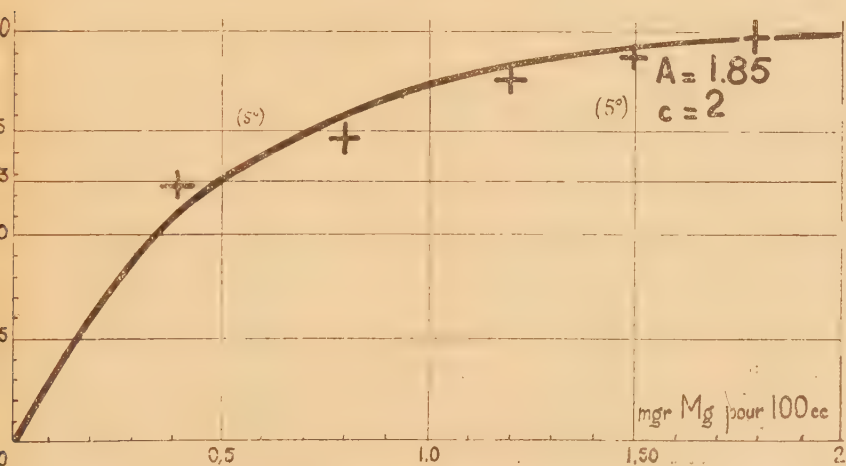
$$A = 1,85 \text{ gr.}$$

$$c = 2,63$$

$$x_c = 0,38$$



CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,10	0,363	19,6	23,1	— 15,1
0,20	0,660	35,7	40,9	— 12,7
0,40	1,363	73,7	65,1	+ 13,2
0,80	1,841	99,5	87,8	+ 13,3
1,20	1,873	101,2	95,8	+ 5,7
1,50	1,829	98,8	98,1	+ 0,7



L'expérience sur le milieu contenant 8,1 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 70 - 3°) :

$$A = 1,80$$

$$c = 2,18$$

$$x_c = 0,46$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,20	0,631	33,2	35,3	— 6,3
0,40	1,085	37,1	58,2	— 2,2
0,60	1,454	76,5	72,9	+ 4,7
0,80	1,641	86,3	82,5	+ 4,4
1,20	1,904	100,2	92,7	+ 7,5
1,50	1,884	99,1	96,2	+ 3,9

Enfin l'expérience faite sur le milieu contenant 21,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants (fig. 70 - 5°) :

$$A = 1,85$$

$$c = 2,0$$

$$x_c = 0,50$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,40	1,144	61,8	55,3	+ 11,9
0,80	1,450	73,0	80,0	— 8,8
1,20	1,621	87,6	91,1	— 3,9
1,50	1,733	93,7	95,1	— 1,7
1,80	1,811	97,8	97,3	+ 0,5
2,0	1,856	100,3	98,3	+ 2,0

Les tableaux suivants permettent de suivre les modifications du coefficient d'action du magnésium, en fonction des variations de la teneur en phosphore du milieu (fig. 71).

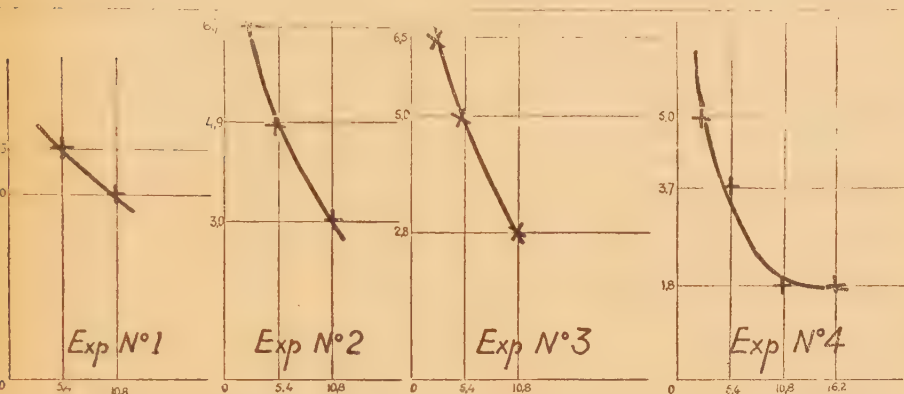


Fig. 71

Variation du coefficient d'action du magnésium en fonction de la teneur en phosphore du milieu
en ordonnées valeur de c
en abscisses teneur en phosphore P en mgr pour 100 cc

TABLEAU N° 1. — Le phosphore est offert sous forme de $\text{PO}^4 \text{H}^2 \text{NH}^4$.

TENEUR EN PHOSPHORE DU MILIEU (EN MGR.) POUR 100 CM ³ DE LIQUIDE	VALEUR DU COEFFICIENT D'ACTION DU MAGNÉSIUM
5,4	4,35
10,8	3,50
2,7	6,70
5,4	4,90
10,8	3,0
2,7	6,50
5,4	5,0
10,8	2,80
2,7	5,0
5,4	3,70
10,8	1,80
16,2	1,80

TABLEAU N° 2. — Le phosphore est offert sous forme de $\text{PO}^4 \text{H}^2\text{K}$ (fig. 72).

TENEUR EN PHOSPHORE DU MILIEU (EN MGR.) POUR 100 CM^3 DE LIQUIDE	VALEUR DU COEFFICIENT D'ACTION DU MAGNÉSIUM
5,4	4,35
10,8	3,85
21,6	3,23
5,4	2,86
10,8	2,32
21,6	1,82
2,7	3,33
5,4	2,63
8,1	2,18
10,8	2,0
21,6	2,0

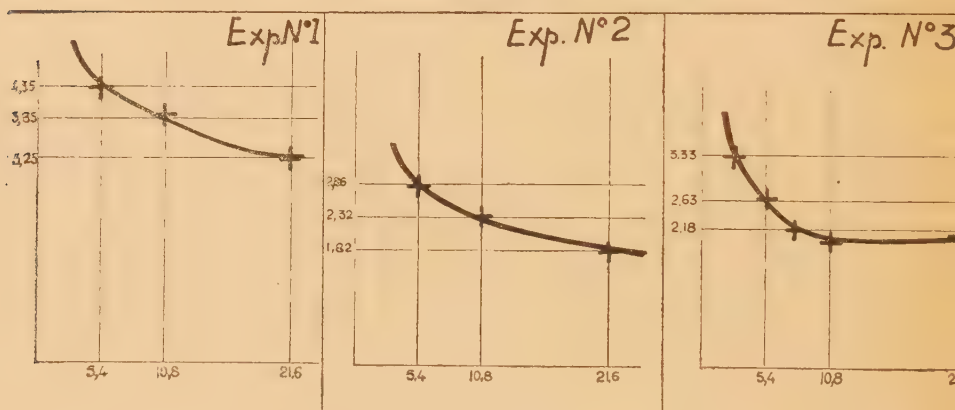


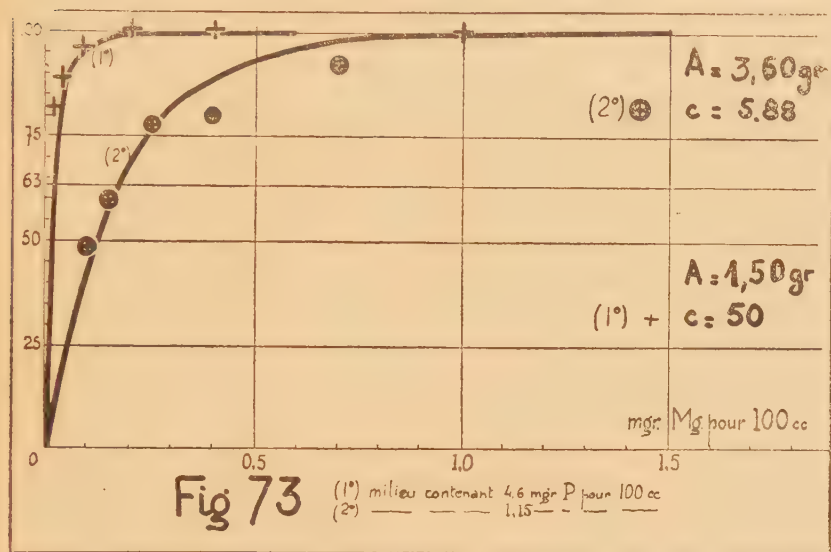
Fig 72 Variation du coefficient d'action du magnésium en fonction de la teneur en phosphore du milieu
 en ordonnées l'alour de c
 en abscisses teneur en P (en mgr pour 100 cc)

La valeur du coefficient d'action du magnésium varie donc de façon très étroite avec la teneur en phosphore du milieu. La valeur de ce coefficient augmente lorsqu'on diminue la teneur en phosphore du milieu (40) et (41)

Lorsqu'on fait varier la teneur en phosphore du milieu

entre 2,7 mgr. pour 100 cm³, et 10,8 pour 100 cm³, l'augmentation du coefficient d'action du magnésium est à peu près proportionnelle à la diminution de la teneur en phosphore du milieu ¹(fig. 71 et 72). Au contraire, lorsqu'on augmente la teneur en phosphore du milieu de 10,8 mgr. pour 100 cm³ jusqu'à 16,2 mgr. pour 100 cm³, et 21,6 mgr. pour 100 cm³, la valeur du coefficient d'action du magnésium ne varie pas, ou faiblement (fig. 71 et 72).

D'autre part, si on diminue la teneur en phosphore du milieu, jusqu'à 1.35 mgr. pour 100 cm³, le coefficient d'action du magnésium



augmente de valeur de façon considérable, comme le montre l'expérience suivante (fig. 73).

Des cultures sont faites sur les deux milieux ne différant que par leur teneur en phosphore.

Un des milieux contient 4,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³.

L'autre ne contient que 1,15 mgr. de phosphore pour 100 cm³.

L'expérience sur milieu contenant 4,6 mgr. de phosphore pour 100 cm³, a donné les résultats suivants :

$$A = 3,60 \text{ gr.}$$

$$c = 5,88$$

$$x_c = 0,16$$

1. Cf Mme F. LABOREY, MM. J. LAVOLLAY et J. NEUMANN (40) et M. M. JAVILLIER, J. LAVOLLAY, F. LABOREY et J. NEUMANN (41).

A cette époque, seule la région de la courbe, comprise entre 2,7 mgr. et 10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³, avait été étudiée.

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100CM ³	POIDS SEC ET GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,10	1,75	48,6	44,4	+ 8,6
0,15	2,12	58,9	58,6	+ 0,5
0,25	2,77	76,9	77,0	— 0,2
0,40	2,87	79,7	90,3	— 11,7
0,70	3,32	92,2	98,4	— 6,5
1,0	3,60	100,8	99,7	+ 0,3

L'expérience faite sur le milieu contenant 1,15 mgr. de phosphore pour 100 cm³ a donné les résultats suivants :

$$\begin{aligned}
 A &= 1,50 \\
 c &= 50 \text{ environ} \\
 x_c &= 0,02
 \end{aligned}$$

CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM EN MGR. POUR 100 CM ³	POIDS SEC EN GR.	POIDS POUR A = 100	POIDS CALCULÉ	ERREUR %
0,02	1,22	81,3	63,0	+ 22,2
0,05	1,32	89,3	90,1	— 0,9
0,10	1,45	96,7	96,5	+ 0,2
0,20	1,52	101,3	99,5	+ 1,8
0,40	1,50	100	100	0
0,60	1,40	93	100	— 7,0

Il est très difficile d'établir la courbe de récolte de l'*Aspergillus niger* dans ces conditions, car le poids optimum de récolte est obtenu avec des doses très faibles de magnésium. Néanmoins on peut affirmer que la valeur du coefficient d'action du magnésium est voisine de 50, valeur très différente de celles qui ont été trouvées jusqu'ici.

La variation de la valeur du coefficient d'action du magnésium en fonction de la teneur en phosphore du milieu est représentée par une courbe d'allure hyperbolique. En première approximation, la valeur du coefficient (qui demeure pratiquement constante lorsque la teneur en phosphore du milieu est supérieure à 10,8 mgr. pour 100 cm³) est inversement proportionnelle à la teneur en phosphore du milieu, lorsque cette teneur est comprise entre 2,7 et 10,8 mgr. de phosphore pour 100 cm³.

D'autre part, l'allure de la courbe est différente lorsque le phosphore est offert sous forme de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{K}$ ou lorsqu'il est offert sous forme de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{NH}^4$.

Le coefficient d'action du magnésium varie dans de plus faibles limites, et beaucoup moins rapidement, lorsque le phosphore est sous forme de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{K}$.

On peut rapprocher ce fait de la faible variation du poids maximum de récolte lorsque varie la teneur en $\text{PO}^4\text{H}^2\text{K}$ du milieu.

Nous arrivons donc à cette conclusion que la courbe de récolte est déterminée, toutes choses égales d'ailleurs, par la valeur du

rapport $\frac{\text{P}}{\text{Mg}}$.

Dans un milieu de composition pratiquement constante, nous avons vu que la loi de récolte correspondait à la formule

$$\text{P} = \text{A} (1 - e^{-cx}).$$

Il pouvait paraître plus étonnant, à priori, que cette loi soit applicable à une culture effectuée dans un volume de liquide limité, dont, nous l'avons vu plus haut, la composition varie de façon importante entre le début et la fin de la croissance du mycélium.

Cependant, nous avons constaté que quelle que soit la variation des constituants du milieu nutritif, la concentration en magnésium et en phosphore à l'intérieur de la matière vivante, reste constante durant la deuxième partie de la végétation. La valeur du rap-

port $\frac{\text{P}}{\text{Mg}}$ reste donc également constante. Ce fait peut contribuer à

expliquer comment la même loi est applicable à des cultures en milieu stable et à des cultures en milieu limité.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Ce travail est, en résumé, une contribution à l'étude du développement de l'*Aspergillus niger* en fonction de la composition du milieu.

La première partie est une étude préliminaire consacrée à la *croissance en fonction du temps*, sur un milieu de composition déterminée, voisine de celle du liquide de Raulin. Les cultures sont faites en ballons stériles.

La courbe obtenue est une courbe en S qu'on peut décomposer en trois parties.

La première et la troisième peuvent être assimilées à des branches d'hyperboles ou d'exponentielle, la deuxième étant pratiquement une droite. Dans cette partie de la courbe, la croissance est linéaire, le poids de matière vivante formée à chaque instant est proportionnel au temps. La vitesse de croissance est constante. Ceci est vrai, dans les conditions expérimentales réalisées, pour la période comprise entre la 30^e et la 70^e heure de culture environ.

Nous avons confirmé que le pourcentage de cendres du mycélium diminue au cours du développement. D'autre part l'étude de la variation des teneurs en magnésium et en phosphore du mycélium, au cours de sa croissance, a montré que la masse de ces deux constituants fixée par le mycélium augmente avec le temps de culture, suivant une loi analogue à celle qui régit l'augmentation de poids du mycélium lui-même, tout au moins entre la 50^e et la 100^e heure de culture.

En conséquence : a) La concentration de ces deux éléments à l'intérieur de la matière vivante, reste à peu de choses près constante durant la 2^e partie de la croissance du mycélium.

b) A chaque instant, les quantités fixées de phosphore et de magnésium sont dans un rapport constant.

Nous avons ensuite étudié l'influence de la variation de la teneur en magnésium du milieu, sur la vitesse de croissance du mycélium correspondant à la phase rectiligne de la courbe.

Les résultats obtenus montrent (les poids de récolte obtenus au

bout d'un même temps de culture allant en croissant avec la teneur en magnésium du milieu, jusqu'à ce que cette teneur atteigne 1,5 mgr. pour 100 cm³ environ) que la vitesse de croissance du mycélium augmente avec la concentration en magnésium du milieu, lorsque cette concentration varie entre 0 et 0,5 mgr. de magnésium pour 100 cm³ de liquide. Au-dessus de cette concentration, la vitesse de croissance du mycélium demeure à peu près fixe.

Or, comme on le montrera plus loin, l'optimum de récolte n'est pratiquement jamais obtenu pour des concentrations en magnésium inférieures à 1,5 mgr. pour 100 cm³; on en conclut que l'action favorable de ce supplément de magnésium sur le poids de récolte, s'exerce durant la première partie de la croissance du mycélium (portion de la courbe ayant sa concavité vers le haut).

Dans la deuxième partie de ce travail, on étudie la courbe de récolte, à temps de culture constant, lorsque varie la concentration en magnésium du milieu. On étudie la possibilité d'appliquer à l'augmentation du poids de récolte, consécutive à l'accroissement de la teneur en magnésium du milieu, la formule dite de Mitscherlich

$$\frac{dP}{dx} = c (A - P) \quad (1),$$

$$\text{ou } P = A (1 - e^{-cx})$$

où P est le poids de récolte sèche,

A le poids maximum de récolte obtenu,

x la teneur en magnésium du liquide de culture,

e la base des logarithmes népériens,

c un coefficient que nous appelons coefficient d'action du magnésium.

Deux séries d'expériences ont été entreprises.

1^o Dans la première, les mycéliums ont été cultivés comme plus haut, en matras, sur un liquide analogue à celui de Raulin, où l'on fait varier la teneur en magnésium.

L'expérience montre que la formule (1) est applicable, avec de faibles écarts expérimentaux, à la courbe de récolte en fonction de la teneur en magnésium du liquide nutritif. Elle l'est également lorsque c'est la teneur en phosphore ou en potassium du liquide que l'on fait varier.

2^o La composition du milieu varie de façon considérable pendant la durée de l'expérience, comme le montrent les dosages de glucose, phosphore et magnésium effectués durant les 100 premières heures de culture. Il est difficile de rapporter le poids de la récolte à la teneur initiale du liquide en un élément, puisque cette tenue évolue de façon complexe au cours du développement.

Ainsi apparaît la nécessité d'opérer avec des milieux de composition stable. Un dispositif de culture spécial nous a permis d'obtenir une petite masse de mycélium sur un grand volume de liquide. Les variations de la composition du liquide sont ainsi rendues négligeables ; le liquide au contact du mycélium, est constamment renouvelé par un système d'agitation.

Les résultats montrent qu'ici encore la formule (1) est applicable aux récoltes d'*Aspergillus niger* en fonction de la teneur en magnésium du liquide nutritif.

La comparaison des résultats obtenus par ces deux procédés de culture montre que ce qui importe pour l'édification d'un certain poids de matière vivante, est la *concentration* en magnésium du liquide nutritif, et non la teneur globale du milieu en magnésium.

L'examen de la formule montre d'autre part que, pour chaque concentration x , le poids de récolte est fixé par la valeur du coefficient c .

Si l'on choisit pour la concentration x une valeur telle que $x = \frac{1}{c}$ la formule se transforme de la façon suivante : $P = A (1 - e^{-1})$, $e - 1$ étant égal à 0,37, l'équation prend la valeur $P = A \times 0,63$.

x_c est une constante de concentration dont la valeur suffit à déterminer toute la courbe de récolte.

Toute constante de concentration que l'on pourrait choisir, par exemple celle qui conduit à 99 % de la récolte maxima est un multiple ou un sous-multiple de x_c .

L'impossibilité d'obtenir des conidies d'une qualité invariable d'une expérience à l'autre, ne permet pas de conclure à la fixité absolue du coefficient c . Mais les variations du coefficient c d'un élément donné sont peu importantes comparées aux écarts entre les coefficients d'action d'éléments différents :

Coefficient d'action du magnésium :	valeur moyenne	2,6
— du phosphore :	—	0,4
— du potassium :	—	0,1

Nous avons ainsi une manière de chiffrer l'activité relative des principaux éléments plus vraie que celle qui consiste à calculer des « coefficients d'utilité spécifique » soit d'après les quantités de ces éléments se trouvant initialement dans le milieu (J. Raulin) soit, bien que cela semble plus légitime, d'après la quantité réellement fixée des éléments (*M. Javillier* (39).)

3° Au cours des expériences précédentes, on a dosé les quantités de magnésium fixées par le mycélium. Ces dosages ont permis de vérifier sur l'*Aspergillus niger* les lois proposées par Lavollay.

1° si l'on désigne par Y la quantité de magnésium fixée par le mycélium, et si P est le poids de la récolte, on peut écrire $Y = A P^\alpha$ ($\alpha > 1$) — A et α sont des constantes. Cette loi n'étant valable que jusqu'au moment où l'optimum de récolte est atteint

2° si l'on désigne par y la quantité de magnésium fixée par 100 gr. de récolte, et x la teneur en magnésium de 100 cm³ de liquide nutritif, on peut écrire $y = K x^{\frac{1}{p}}$ — K et $\frac{1}{p}$ sont des constantes ($\frac{1}{p} < 1$.)

Dans la troisième partie on étudie l'influence de la composition du milieu sur le coefficient d'action du magnésium.

La valeur du coefficient c d'un élément nutritif n'est déterminée qu'à condition de préciser les conditions de milieu dans lesquelles on se place. Lorsque varie la composition du milieu le coefficient c change de valeur.

Les expériences sont faites comparativement sur un milieu type et sur le milieu à étudier. Des expériences préliminaires ont ainsi permis de déterminer que :

1° Le coefficient d'action du magnésium est plus élevé lorsque les cultures sont faites sur un milieu où tous les éléments sont à une concentration réduite que lorsqu'elles sont faites sur milieu normal.

2° la valeur du coefficient d'action du magnésium en milieu à demi-teneur en glucose, est très voisine de la valeur de ce coefficient en milieu normal.

3° Le coefficient d'action du magnésium se trouve profondément affecté par la disparition partielle des sels minéraux qui constituent le liquide de culture.

Nous avons étudié de façon spéciale les conséquences de la diminution de la teneur en azote et en phosphore du milieu, sur la valeur du coefficient d'action du magnésium.

1° Suivant la nature de la combinaison azotée dans le milieu, sa concentration influe ou non sur la valeur du coefficient d'action du magnésium.

Ce coefficient d'action se trouve affecté de façon sensible par la diminution de la teneur en azote du milieu, quand l'azote est introduit sous forme uniquement ammoniacale. Il ne l'est pas ou l'est à peine lorsque l'azote y est introduit sous forme de nitrate, même de nitrate d'ammonium; on est ainsi indirectement conduit à penser que le magnésium joue un rôle dans l'assimilation de l'oxygène atmosphérique. En effet l'importance relative du coefficient d'action du magnésium change lorsque varie la teneur en azote ammoniacal du liquide de culture et non lorsque varie la teneur en azote si cet azote est, en tout ou en

partie, combiné à de l'oxygène. C'est donc l'absence d'oxygène combiné dans le milieu de culture qui entraîne une modification sensible de la puissance d'action de l'unité de masse de magnésium, lorsqu'on fait varier la teneur en azote du milieu.

2° *La valeur du coefficient d'action varie de façon très étroite avec la teneur en phosphore du milieu.*

Cette valeur augmente lorsqu'on diminue la teneur en phosphore du milieu, suivant une courbe d'allure hyperbolique (les variations du coefficient d'action du magnésium sont de plus faible amplitude lorsque la source de phosphore du milieu est constituée par $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$ que lorsqu'elle l'est par $\text{PO}_4\text{H}_2\text{NH}_4$).

Ces faits mettent en lumière l'importance très grande de la constante du rapport $\frac{\text{P}}{\text{Mg}}$ pour l'établissement de la courbe de récolte. Ils permettent d'expliquer pourquoi cette courbe est de même forme dans le cas des cultures sur milieu de composition pratiquement constante et sur milieu limité, de composition continuellement variable. Dans ce 2° cas, nous avons vu en effet que le rapport $\frac{\text{P}}{\text{Mg}}$ restait fixe au cours de la croissance malgré la disparition partielle du phosphore et du magnésium.

En somme, il est possible d'appliquer à la courbe de récolte d'*Aspergillus niger*, en fonction de la *concentration* en magnésium du liquide nutritif, la formule dite de Mitscherlich. $P = A(1 - e^{-cx})$, qui est valable aussi bien pour les cultures en milieu limité, que pour des cultures en milieu de composition pratiquement constante.

Seules les valeurs trouvées pour les paramètres A et c dans des conditions fixes de milieu, ont une valeur physiologique réelle. La valeur du coefficient c , dit coefficient d'action du magnésium, est spécifique de cet élément.

Cette valeur varie avec la teneur en phosphore du milieu et, dans certaines conditions, avec la teneur en azote.

J'ai pu établir que la puissance d'action du magnésium est beaucoup plus considérable dans les milieux où l'azote est présent sous la seule forme ammoniacale — et le même caractère de nécessité accrue dans les milieux où est augmentée la concentration en phosphore.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1. LAVOLLAY (J.). — Etude sur l'intervention du magnésium dans quelques phénomènes biochimiques et sur les principes de son rôle agronomique. *Th. Fac. Sc.*, Paris, 1936, Hermann, édit.
2. LAVOLLAY (J.) et LABOREY (Mme F.). — Sur l'expression mathématique du développement d'*Aspergillus niger* en fonction de la concentration en magnésium du milieu nutritif. *C. R. Ac. Sc.*, 204, 1937, 1686.
— Définition du coefficient d'action du magnésium vis-à-vis d'*Aspergillus niger*. Ses variations avec la composition du milieu. *C. R. Ac. Sc.*, 208, 1939, p. 1357.
3. ROBERTSON (T.-B.). — *J. gén. phys.*, 1928-8, 1928-12.
4. BERTALANFFY (L. von). — *Arch. entw. Mech.*, 1934, 131.
5. SCHMALHAUSEN. — *Arch. f. entw. Mech.*, t. CIX, 1927, p. 455.
6. TESSIER (G.). — Les lois quantitatives de la croissance, Paris 1937, Hermann, édit.
7. STEFANOWSKA (M.). — Sur la loi de variation de poids de *Penicillium glaucum* en fonction de l'âge. *C. R. Acad. Sc.*, 139, 1904, 879.
8. MOLLIARD (M.). — Action des acides minéraux sur la teneur en cendres du *Sterigmatocystis nigra*. *C. R. Soc. Biol.*, 1919, 82, 754-56.
9. CRÉPIN (A.). — Influence de l'acidité sur la nutrition minérale du *Sterigmatocystis nigra*. *Th. Fac. Sc.*, Paris 1932, Louis Clerc., édit.
10. RIPPEL (A.) et BEHR (G.). — Über die Verteilung des Magnesium im Pilzmycel. *Arch. mikrobiol.* 1, 271, 6, 1930.
11. SCHNÜKE (R.). — Der Phosphorstoffwechsel einiger Pilze mit besonderer Benicksichtigung von *Aspergillus niger*. *Bioch. zeit.*, 153, 1924, 372.
12. JAVILLIER (M.) et LAVOLLAY (J.). — Sur quelques utilisations analytiques de la 8-hydroxyquinoléine en chimie agricole. 4^e congrès international des Industries agricoles, Bruxelles, 1935.
13. COPAUX (H.). — Procédé rapide pour doser l'acide phosphorique. *C. R. Ac. Sc.*, 1921, 173, p. 656.
14. LIEBIG. — Die Grundsätze der Agrikultur Chemie. 2 Aufl., Braunschweig, 1855, S. 24-26, 105.
— Nachtrag zu den Grundsätzen der Agrikulturchemie usw. Braunschweig, 1855, S. 13.
— u. TEIL. — Die Naturgesetze des Feldbaues. 7 Aufl., Braunschweig, 1862, S. 75, 133, 223-227.

15. WAGNER (P.). — *Landwirtschaft. Jahrb.* 12, 538, 1883.
 — *Journ. f. Landwirtschaft*, 31, 258-268, 1883.
 — *Der Fall Soxhlet*. Darmstadt, 1911, S. 113.
 — *Stickstoffdüngung der Landwirtschaft Kulturpflanzen*. Berlin, 1892, S. 12.
16. MAYER (A.). — *Das Dünger Kapital und der Raubbau*. Heidelberg, 1698, S. 13.
17. BLACKMANN. — *Ann. of Botany*, 19, 281, 1905.
18. LIEBSCHER. — *Journ. f. Landwirtschaft*, 43-49, 1895.
19. PFEIFFER (Th.), BLAUCK (E.) et FLÜGEL (M.). — *Landwirtschaft Versuchs Statione* 76, 169, 1912.
 — u. SIMMERMACHER (W.). — *Ebenda* 86, 45, 1915.
20. PRINGSHEIM (E. G.). — *Eb. Zeitschr. f. Botanik*, 6, 577, 1914.
21. BORESCH (K.). — *Planta*, 2, 380, 1926.
22. SAPEHIN (A.). — *Ber. dtsh. botan. Ges.*, 41, 386, 1923.
23. NIKLAS et MILLER. — *Forstwissenschaftl. Zentralbl.* 48, 738, 1926.
 — *Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung* (A.), 8, 289, 1927.
24. MITSCHERLICH (E.-A.). — *Landwirtschaft. Jahrb.* 56, 71, 1921.
 — *Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung* (A.) I. 49, 1922.
 — *Bodenkunde für Land. u. Forstwiss.* 4 Aufl., Berlin, 1923.
 — *Leopoldina*, Halle 2, 182, 1926.
 — u. DUHRING (F.). — *Das Liebig'sche Gesetz von Minimum und das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. Schriften der Königsberger gelehrt Ges. Naturwiss.* K 3, 1, 1926.
25. BAULE (B.). — *Landwirtschaft. Jahrb.*, 51, 363-385, 1917.
26. MOLLIARD (M.). — Influence d'une dose réduite de potassium sur les caractères physiologiques du *Sterigmatocystis nigra*. *C. R. Ac. Sc.*, 1920, 170, 949-951.
 — Sur les caractères présentés par le *Sterigmatocystis nigra* en présence d'une dose réduite de phosphore. *C. R. Soc. Biol.*, 1920, 83, 479-481.
 — Sur le déterminisme de la formation des conidies chez le *Sterigmatocystis nigra*. *C. R. Ac. Sc.*, 1923, 176, 1857-59.
27. REEDS. — Relation of Mg and P. to growth of fungi *Proc. Amer. Soc. Biol. Chem.* 23, 1908.
28. DOX (J.). — The phosphorus assimilation of *Aspergillus niger*. *Journ. Biol. Chem.*, 10, 1911-12, 77-80.
29. BAULE (B.). — *Landw. Jahrb.*, 59, 431, 1924.
30. SÖDING. — *Planta*, 6, 482, 1928.
31. CANALS (E.). — Du rôle physiologique du magnésium chez les végétaux. *Bull. Soc. Chim. biol.*, 1929, 11, 14.

32. LAVOLLAY (J.). — Considérations sur la fixation et l'échange des cations chez les êtres vivants. *Bull. Soc. Chim. biol.*, 18, 1936, 1269.
33. NIETHAMMER (A.). — *Biochem. Zeitschr.*, 165, 1925, 168-95.
34. MEYER (R.). — *Biochem. Zeit.*, 181, 207, 1927.
35. MEYER (R.). — *Biochem. Zeitschr.*, 199, 1928, 171-4.
36. RIPPEL (A.). — *Z. Pflanzenernährung u. Düng. A.*, 8, 65, 1926.
37. LEMMERMANN (O.). — *D. Zeits f. Pflanz. Düng. und Bodenkunde. (B.)* 1928, t. VII, 49.
38. KLECHKOWSKY. — 2^e Congrès Intern. de la Soc. du Sol. Moscou 1930, vol. IV, p. 116.
39. JAVILLIER (M.). — Influence exercée par le zinc sur l'utilisation par *Aspergillus niger* de ses aliments hydrocarbonés, azotés et minéraux. Définition nouvelle des coefficients d'utilité spécifique des éléments. *Bull. Sc. Pharm.*, t. XIX, p. 513, 1912.
40. LABOREY (Mme F.), LAVOLLAY (J.), NEUMANN (J.). — Coefficient d'action du magnésium vis-à-vis d'*Aspergillus niger*. Variation linéaire de ce coefficient avec la concentration en phosphore. *C. R. Ac. Sc.*, 212, 1941, 624-26.
41. JAVILLIER (M.), LAVOLLAY (J.), LABOREY (Mme F.) et NEUMANN (J.). — Recherches sur la fonction du magnésium dans la production végétale. Magnésium et phosphore. *C. R. Ac. Agric.*, t. XXVII, 1941, p. 398.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE	
Croissance d' <i>Aspergillus</i> en fonction du temps.....	
CHAPITRE I. — <i>Croissance en fonction du temps pour une même teneur en magnésium</i>	3
I. Etablissement de la courbe.....	5
II. Vitesse de croissance.....	9
III. Evolution de la composition minérale du mycélium au cours de la croissance.....	9
1° Variation quantitative des cendres du mycélium.....	9
2° Variation de la teneur du mycélium en magnésium et phosphore.....	11
A) Recherches antérieures.....	11
B) Méthodes de dosage.....	12
C) Résultat des dosages effectués dans le mycélium....	15
D) Conclusions.....	20
CHAPITRE II. — <i>Modifications apportées aux courbes de croissance en fonction du temps, par des variations de la teneur en magnésium du liquide nutritif</i>	23
I. Expériences.....	23
II. Résultats.....	26
DEUXIÈME PARTIE	
Courbes des récoltes obtenues en fonction de la concentration du milieu en magnésium $\frac{dP}{dx}$ (à temps de culture constant).....	33
CHAPITRE III. — <i>Cultures en milieux limités</i>	33
I. Loi de Mitscherlich.....	33
II. Résultats expérimentaux.....	36
A) Courbe des récoltes obtenues en fonction de la teneur initiale en magnésium.....	36
B) Courbe des récoltes obtenues en fonction de la teneur initiale en phosphore.....	43
C) Courbe des récoltes obtenues en fonction de la teneur initiale en potassium.....	50
CHAPITRE IV. — <i>Cultures sur milieux de composition pratiquement constante</i>	56
I. Nécessité d'opérer en milieu constant.....	56

A) Variation de la teneur en glucose	56
B) — en magnésium	59
C) — en phosphore	61
II. Dispositif de culture	62
A) Calcul des dimensions à donner au dispositif	63
B) Marche des expériences	65
III. Résultats expérimentaux. Nécessité d'agiter	65
IV. Conséquences de la loi d'action du magnésium	78
A) Rôle de la <i>concentration</i> du milieu en magnésium	78
B) Détermination du maximum	79
C) Importance du coefficient <i>c</i>	79
D) Détermination graphique du coefficient <i>c</i>	79
E) Variation du coefficient <i>c</i>	80
CHAPITRE V. — <i>Fixation du magnésium par le mycélium</i>	82
I. Quantité de magnésium fixée par le mycélium	83
II. Quantité de magnésium fixée par 100 gr. de récolte	88
TROISIÈME PARTIE	
Influence de la composition du milieu sur le coefficient d'action du magnésium	93
CHAPITRE VI. — <i>Expériences préliminaires</i>	96
I. Le milieu de culture est dilué de moitié	96
II. Diminution de la teneur en glucose	100
III. Diminution de la teneur en sels minéraux	105
CHAPITRE VII. — <i>Variation du coefficient d'action du magnésium avec la nature et la concentration de l'azote dans le milieu</i>	111
I. L'azote est offert sous forme de NO^3NH^4	111
II. L'azote est offert sous forme de NO^3K ou NH^4Cl	120
CHAPITRE VIII. <i>Variation du coefficient d'action du magnésium avec la teneur en phosphore du milieu</i>	130
I. Le phosphore est offert sous forme de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{NH}^4$	130
II. Le phosphore est offert sous forme de $\text{PO}^4\text{H}^2\text{K}$	139
Résumé et Conclusions	155
Index bibliographique	161

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

LES DIVERSES HORMONES VÉGÉTALES
ET LEUR DÉFINITION PHYSIOLOGIQUE

Vu et approuvé :

Paris le 25 avril 1942.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

PAUL MONTEL.

Vu et Permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS.

GILBERT GIDEL.

— IMPRIMERIE —
LOUIS BELLENAND
ET FILS, A FONTENAY-
AUX-ROSES (SEINE)

61.596.

